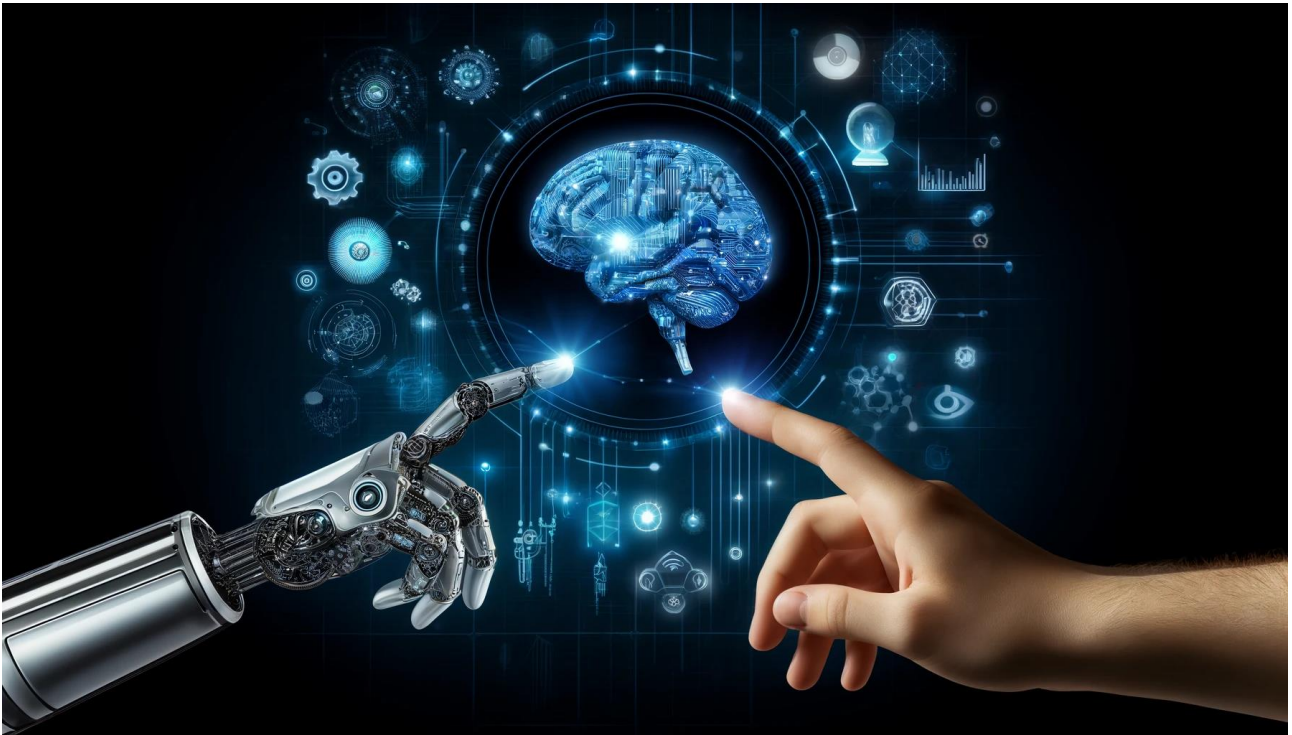




CHALMERS



Implementering av Artificiell Intelligens inom Installationsteknik

Jämförelse mellan AI-baserade och traditionella metoder och verktyg

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

Nour Saad Eddin
Veronica Bergstrand

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNING FÖR INSTALLATIONSTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Implementering av Artificiell Intelligens inom Installationsteknik

Jämförelse mellan AI-baserad och traditionella metoder och verktyg

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik

Nour Saad Eddin
Veronica Bergstrand

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för avdelningsnamn
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2024

Implementering av Artificiell Intelligens inom Installationsteknik
Jämförelse mellan AI-baserad och traditionella metoder och verktyg

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Nour Saad Eddin

Veronica Bergstrand

© NOUR SAADEDDIN & VERONICA BERGSTRAND, 2024

Examensarbete ACEX20
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Installationsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
En människohand och en robothand pekar mot en hjärna, genererad av ChatGPT.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg, 2024

Implementering av Artificiell Intelligens inom Installationsteknik

Jämförelse mellan AI-baserad och traditionella metoder och verktyg

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Nour Saad Eddin

Veronica Bergstrand

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Den snabbt växande trenden för digitalisering får allt fler företag att omvärdera sina rutiner och arbetssätt för att behålla sin konkurrenskraft på marknaden. Det ställs högre krav när det kommer till hållbarhetsfrågor och vikten av korrekt planering redan i tidiga stadier. De senaste innovationerna inom artificiell intelligens har därför blivit mycket omtalade på grund av dess potential att effektivisera och underlätta planeringsprocessen samt minska uppkomst av felkällor. När det kommer till VVS-branschen är AI fortfarande relativt outforskat, och få företag har erfarenhet av dess funktioner. Detta har bland annat inspirerat till att skriva om ämnet och därigenom väcka intresset för innovationen hos andra.

I detta arbete har syftet varit att presentera och utforska den grundläggande teorin bakom artificiell intelligens för att ge mer klarhet kring begreppet och dess användningsområden. Dessutom undersöks dagens arbetssätt inom VVS-sektorn i dess tidiga skeden för att sedan förstå hur AI kan nyttjas i olika projekt.

Därefter genomförs de praktiska momenten med inspiration från två befintliga projekt inom byggbranschen som redan har testat implementera AI i tidiga skeden med mål att kunna besvara arbetets syfte och frågeställningar. Det ena projektet är ett forskningssamarbete mellan BIP-koder och SBUF som syftar till att ge flödesprediktioner baserade på maskininlärningsalgoritmer. Det andra projektet har utvecklats på avdelningen för construction management på Chalmers och undersöker hur språkmodellen ChatGPT kan underlätta arbetet under planeringsfasen. Teorin och arbetsmetoderna från båda projekten har därefter använts i ett fiktivt övningsprojekt för detta arbete.

De slutsatser som har dragits efter genomförandet av samtliga moment är att AI, särskilt språkmodellen ChatGPT, har potential att effektivisera arbetet inom VVS-sektorn i tidiga skeden. Detta i sin tur kan minska risken för missförstånd mellan olika discipliner, då alla har tillgång till samma underlag. Det krävs dock ytterligare utveckling och ökat intresse för innovationen innan den kan implementeras inom den dagliga verksamheten. Vidare behövs ännu mer forskning gällande AI inom VVS-branschen för att bedöma dess nytta och risker ur ett hållbarhetsperspektiv.

Nyckelord: Artificiell intelligens, AI, Installationsteknik, VVS, byggbransch, effektivisering, projekteringsprocess

Implementation of Artificial Intelligence in Installations Technology

Comparison between AI-based and traditional tools and design methods

Degree Project in the Engineering Program

Civil and Environmental Engineering

Nour Saad Eddin

Veronica Bergstrand

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Division Installation Technology

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The rapid digitalization trend is causing more and more companies to re-evaluate their procedures and ways of working to stay competitive in the market. With the growing demands for sustainability, the importance of proper planning in the early stages is more critical than ever. As a result, the latest innovations in artificial intelligence led to increased discussion about its potential to optimize and facilitate the planning process and reduce sources of error. However, when it comes to the HVAC industry, AI is still relatively unexplored, and few companies have experience with its capabilities. This has inspired, among other things, to write about the subject and thereby arouse the interest of others in the innovation.

This work aims to present and explore the basic theory behind artificial intelligence to provide more clarity around the concept and its applications. It also examines current working practices in the HVAC sector during the early stages to understand how AI can be utilized in different projects.

The practical studies are inspired by two existing projects in the construction industry that have already tested the implementation of AI in the early stages. These projects intend to answer the purpose and questions of this work. The first project is a research collaboration between BIP-koder and SBUF that aims to provide flow predictions based on machine learning algorithms. The other project is developed by the construction management division at Chalmers and investigates how the language model ChatGPT can facilitate work during the planning phase. The theory and working methods from both projects have been applied in an exercise project for this work.

The conclusions drawn from the different implementations of AI, especially the language model ChatGPT, show that it can potentially optimize work in the HVAC sector in the early stages. This can reduce the risk of misunderstandings between disciplines, as everyone can access the same data. However, further development and increased interest in the innovation are required before it can be implemented in daily operations. Additionally, more research on AI is needed to assess its benefits and risks from a sustainability perspective.

Keywords: Artificial intelligence, AI, Installation technology, HVAC, construction industry, optimization, design process

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	1
1.2 Frågeställningar	1
1.3 Metod	2
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Bakgrund	3
2 BEFINTLIGA METODER OCH VERKTYG FÖR VVS-PROJEKTERING	7
2.1 Traditionella metoder för projektering	7
2.2 Digitala verktyg och mjukvaror inom VVS	7
2.3 Utmaningar och begränsningar inom de befintliga projekteringsmetoderna	8
3 ARTIFICIELL INTELLIGENS	9
3.1 Definition av AI	9
3.2 Historisk framväxt	9
3.3 Kategorisering av AI	11
3.4 Maskininlärning	13
3.5 AI gränssnitt	16
4 ARTIFICIELL INTELLIGENS UR ETT HÅLLBARHETSPERSPEKTIV	19
4.1 Översiktlig beskrivning av hållbarhetskonceptet	19
4.2 AI:s eventuella bidrag till miljö, ekonomi och samhälle	19
4.3 Risker och utmaningar	20
5 ÖVERSIKT ÖVER AI TILLÄMPNINGAR INOM BYGG- OCH VVS SEKTORN.	21
5.1 Kollaborativ informationsstruktur	21
5.2 BIP-koder	22
6 RESULTAT	26

6.1	Jämförelse av tilluftsflöde mellan den handberäknade och BIP-AI genererade metoden	26
6.2	Presentation av ChatGPT:s tolkning av föreskrifter	34
6.3	Konsulternas uppfattning kring AI inom VVS-sektorn	40
7	DISKUSSION	45
7.1	Jämförelse av resultatet mellan BIP-koders applikation och de traditionella metoderna	45
7.2	Analys av ChatGPT:s genererade svar	46
7.3	Utmaningar och överväganden vid användning av AI-språkmodeller	47
8	SLUTSATS OCH VIDARE FORSKNING	50
9	BILAGOR	51
10	REFERENSER	59

Förord

Detta arbete har sammanställts som ett examensarbete inom utbildningen Samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola och omfattar 15 högskolepoäng. Arbetet avser vårterminen 2024 och har genomförts av Nour Saad Eddin och Veronica Bergstrand.

Intresset för arbetet väcktes under kursen Installationsteknik och förstärktes i samband med den växande uppmärksamheten kring AI och dess användningsområden. Dessutom var potentialen att tillämpa AI inom olika sektorer och de möjliga fördelarna en stor anledning till att utföra detta arbete.

Vi vill börja att tacka våra handledare Torbjörn Lindholm och examinator Anders Trüschel från Chalmers och Tomas Uterhall och Mattias Bergh från Norconsult. Vi är särskilt tacksamma för Shahin Sateei som kom in i projektet under de sista månaderna och bidrog med värdefull feedback, stöd och lyfte fram nya insikter till projektet.

Vi vill även ta tillfället för att tacka våra familjemedlemmar, vänner och alla som har stöttat oss genom vår resa. Vi är tacksamma för det stöd och motivation som har varit ovärderligt under arbetets gång.

Avslutningsvis, innan vi fördjupar oss i arbetet, vill vi uttrycka vår djupaste tacksamhet för den ständiga stöttningen och det goda samarbetet under denna period. Trots många utmaningar har vi alltid arbetat tillsammans och stöttat varandra. Vi är övertygade om att vår framgång inte hade varit möjlig utan detta ömsesidiga stöd.

Göteborg, Maj 2024

Nour Saad Eddin och Veronica Bergstrand

1 Inledning

Idag står samhället inför stora utmaningar, särskilt när det gäller klimatförändringar och resursanvändning. Hållbarhetsfrågor tar alltmer plats och de senaste klimatmålen gällande energiomställningen och stävan att energieffektivisera byggnader tvingar fler företag att se över sina rutiner för att kunna möta framtidens behov inom bygg- och VVS-branschen (Ciucci, 2023). Den ökande digitaliseringen blir därmed en avgörande komponent i att minska klimatpåverkan och spelar en central roll när det gäller företagens konkurrenskraft. Detta innebär att företagen behöver hålla sig uppdaterade om de senaste innovationerna och vara öppna mot nya lösningar för att säkra sin plats på marknaden.

Det ökande intresset för digitalisering har bidragit till utvecklingen av artificiell intelligens, vilket i sin tur har öppnat upp för nya möjligheter och alternativa arbetssätt. AI betraktas som ett av de mest betydelsefulla genombrotten i historien, och implementering av denna innovation blir därför ett naturligt steg framåt inom byggsektorn. Trots sin stora potential, är begreppet fortfarande relativt okänt bland anställda och hittills har få personer testat att implementera det inom sin verksamhet. För närvarande utförs all projektering med traditionella metoder och har genom åren modifierats med hjälp av nya digitala verktyg.

Den bristande kunskapen och forskningen kring implementeringen av AI inom VVS-sektorn har utgjort en inspiration för detta arbete. Rapporten bör därför betraktas som ett steg i kartläggningen av ämnet och syftar till att väcka intresset för potentialen i samband med artificiell intelligens inom VVS i tidiga skeden. Detta kapitel utgör en introduktion för VVS-branschens betydelse och de möjliga fördelarna med implementering av AI. Dessutom presenteras arbetets syfte, frågeställningar och avgränsningar för att tydliggöra rapportens struktur.

1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utforska potentialen med implementering av artificiell intelligens inom VVS-sektorn i tidiga skeden och samtidigt ge läsaren en övergripande förståelse för begreppet AI. Valet att fokusera på detta ämne grundar sig både i den pågående energiomställningen och i det faktum att byggbranschen generellt sett har en långsammare anpassningstakt till digitalisering. Genom att analysera AI:s utvecklingsmöjligheter inom det specifika ämnet kan detta arbete uppmärksamma och lyfta eventuella aspekter som kan främja framsteg inom denna innovation.

1.2 Frågeställningar

I slutet av detta arbete förväntas att följande frågeställningar blir besvarade:

- Vilka AI-verktyg kan tillämpas inom installationsteknik i tidiga skeden av byggprocessen?
- Hur kan AI underlätta och effektivisera projekteringsprocessen?
- Hur kan implementering av AI påverka arbetssätt inom VVS-sektorn med hänsyn till hållbarhet?

1.3 Metod

För att erhålla en mer omfattande insikt i hur artificiell intelligens kan implementeras inom VVS-sektorn, inleddes arbetet med en grundläggande litteraturstudie om AI och dess struktur. På grund av den begränsade förekomsten av forskningsresultat och befintliga projekt relaterade till AI inom VVS, valdes även en enkätundersökning som ett verktyg för informationsinhämtning. Syftet med enkätundersökningen var att komplettera arbetet och samtidigt få perspektiv från yrkesverksamma konsulter i deras upplevelse kring utvecklingen av AI. Enkäten publicerades på yrkesnätverket LinkedIn och utformades med anonyma flervalfrågor (se Bilagor) för att maximera svarsfrekvensen och spara tid för deltagarna. De erhållna svaren från enkäten har sedan använts som ett diskussionsunderlag.

Vidare i arbetet har två olika projekteringsmetoder använts och sedan jämförts med varandra. För den första metoden har luftflöden tagits fram och beräknats för hand med hänsyn till minimikraven från Svensk Byggtjänst för olika utrymmen och jämfördes därefter med Boverkets krav för design av ventilationssystem, där det största flödet blev det dimensionerande och använts i arbetet. Själva utförandet av kanaldragningen sköttes av en konsult på installationstekniksavdelningen på Norconsult, som anpassade designen enligt önskade parametrar och flöden.

Den andra metoden var delvis tänkt att bestå av flöden framtagna med hjälp av artificiell intelligens och delvis av algoritmbaserade kanaldragning utförda av Per Ström, systemutvecklare bakom applikationen BIP-AI. Building Information Properties (BIP-koder) är en websida som innehåller byggbranschgemensamma beteckningar och koder som används vid klassificering av olika komponenter i syfte att standardisera och underlätta informationshantering i olika projekt (BIP, 2024). Applikationen BIP-AI är ett samarbete mellan SBUF och BIP-koder som har utvecklats i syfte att ge prediktion av flöden och utföra automatiska kanaldragningar.

För att kunna utföra flödesberäkningarna har en IFC-fil skapats baserad på ett exempelprojekt, vilket även fungerade som ett underlag för den första metoden. IFC står för Industry Foundation Classes och är ett standardiserat filformat som används främst inom Building Information Modeling (BIM), men kan också tillämpas i andra skeden för att underlätta datautbyte mellan olika aktörer och discipliner (Nti, 2022). Enligt metodbeskrivningen av SBUF:s projekt, för att BIP-AI ska kunna utföra flödesprediktioner behövde en IFC-fil exporteras från ett CAD-system och laddas upp på deras applikation. Enligt rapportbeskrivningen behövde filen innehålla "Spaces", vilket är en parameter som innehåller olika egenskaper gällande utrymmen baserat på arkitekternas modell (SBUF, 2022). Denna parameter kunde tillämpas tillsammans med en annan parameter "Area", men när båda användes samtidigt ledde det till dubbla flöden och felaktiga resultat. Enligt Autodesk (2020) använder arkitekter oftast parametrarna Room och Area för att definiera utrymmen istället för Spaces. Skillnaden mellan de två parametrarna är att Spaces kan användas för att analysera olika tekniska system samt kyl- och värmebelastningar i rummen (Autodesk, 2020), medan Area används för att mäta deras yta (Autodesk, 2021). En ytterligare skillnad är att Spaces kräver begränsningar i utrymmen, tillskillnad från Area som kan tillämpas både på begränsade och obegränsade ytor (Autodesk, 2020). I programvaran Revit utfördes flera försök med olika kombinationer av dessa parametrar samt olika rumsbenämningar för att observera eventuella effekter och förändringar i BIP-koders applikation. Även tester utan

användning av parametern ”Area” genomfördes och ersattes med endast ”Spaces”. De benämningarna som passade för byggnadstypen och de olika utrymmens ändamål exporterades därefter i form av en IFC-fil och laddades upp i BIP-koders applikation. Det konstruerade resultatet kunde därefter visas på webbplatsen i form av en planlösning och en lista över de AI genererade flöden. Applikationen gav förslag på utrymmen som hade behov av antingen tapp-, spillvatten eller tilluftsflöden samt deras mängd. Dessutom fanns möjligheten att exportera data i ett Excel-format för att kunna justera de genererade flödena.

Med inspiration från ett forskningsprojekt *Kollaborativ informationsstruktur* (se kapitel 5.1 5.1), initierades ytterligare ett experiment där ChatGPT-4 har använts. För att genomföra den tänka analysen samlades först all nödvändig information från kurslitteraturen *Projektering av VVS-installationer*, samt förordningar från *Boverket*, *Arbetsmiljöverket* och andra relevanta VVS-källor. Dessa underlag utgjorde en samling av lag och krav för utformningen av kanalsystem samt de potentiella problem och fenomen som kunde uppstå vid felaktig design. Vidare tillämpades ett VR-baserat programvara, BIMXplorer, för att generera bilder från olika vinklar för rum såsom gemensamma utrymmen och lägenheter. Detta visuella material och dokumentation presenterades därefter för ChatGPT som grund för att AI:n skulle observera, identifiera och upptäcka fel, samt för att besvara projektets relaterade frågor.

1.4 Avgränsningar

För att detta arbete ska hålla en grundläggande nivå på teorin bakom artificiell intelligens har endast den övergripande informationen valts att tas med. Detta beslut har fattats med tanke på begreppets omfattning och härkomst i flera områden, vilket gör det mer komplext och svårdefinierat. Detaljer såsom koder har avsiktligt inte tagits med i syfte att bibehålla den övergripande karaktären. Dessutom undersöker arbetet andra projekt som har börjat implementera AI, dock endast begränsat till det som kan vara relevant inom byggbranschen.

När det gäller själva projekteringen och vidare tolkning av resultatet har ventilation valts som det primära undersökningsområdet. De underlag som har valts vid beräkningarna av flöden har baserats på minimikrav för utrymmen och tar inte hänsyn till värmealstring från teknisk utrustning. Denna begränsning har gjorts i syfte att kunna genomföra så lik jämförelse som möjligt med den AI-projekterade metoden. Svaren från BIP-koder som presenteras senare i resultatskapitlet består av värden som inte har blivit korrigerade, trots att det fanns möjlighet till det.

1.5 Bakgrund

Idag använder flera företag mjukvaror såsom Revit, MagiCAD, AutoCAD och Excel i sitt dagliga arbete. Syftet med programvarorna är att underlätta beräkningar, bespara tid och minimera felkällor som kan uppstå vid handberäknad projektering. Med samhällsutveckling och spridningen av AI växer intresset för dess implementering och integrering i tidiga projekteringsskeden i syftet att effektivisera arbete och sänka kostnader.

Detta kapitel presenterar och lyfter upp potentiella fördelar med AI tillämpningar i tidiga skeden samt ger en översiktlig beskrivning av VVS-konsulternas roll i byggbranschen och varför det är viktigt att ta hänsyn till installationsteknik i bostäder och verksamheter.

Beskrivning av VVS-projektering och dess vikt inom byggbranschen

Begreppet VVS-projektering omfattar planeringen av byggnadens system för värme, ventilation och sanitet. Fokuset inom VVS ligger på att reglera temperatur, luftkvalitet inne i byggnaden men även på utformningen av rör och kanaler för olika installationstekniska system (Fischel, 2023).

Genom redox reaktioner och aktiviteter utförda av människor frigörs koldioxid och fukt, vilket kan leda till ökat ventilationsbehov för att kunna upprätthålla den nödvändiga luftkvaliteten och behålla den hälsosamma inomhusklimaten. Boverket understryker i artikeln *Luft och ventilation i bostäder* att ventilation har en stor betydelse, där dålig eller otillräcklig luftomsättning kan påverka och skada människornas liv och hälsa (Boverket, 2023).

Ventilation är en viktig komponent i olika typer av byggnader och industriella miljöer. Den säkerställer en hälsosam och bekväm miljö genom att reglera luftflöden i syfte att uppnå optimal komfort och luftkvalitet. En effektiv och välplanerad ventilationsdesign bidrar till produktiv avlägsnande av fukt, föroreningar och lukter, samt tillhandhåller tillförsel av frisk luft (Warfvinge & Dahlblom, 2020). Dessutom är välfungerande ventilationslösningar avgörande för energianvändning, byggnadsverksamhet och inomhuskomforten. Ett effektivt VVS-system skapar inte bara trevligare och säkrare inomhusmiljö för människor utan leder också till energi- och kostnadsbesparingar (Fischel, 2023).

Potentiell nytta med implementering av AI inom projektering

Applikationen från BIP-koder, som även kallas för BIP-AI, har blivit en ögonöppnare för implementering av AI inom VVS-sektorn i Sverige. Det är ett unikt forskningsprojekt mellan BIP-koder och SBUF där AI anses ha en stor potential när det kommer till rördragning i tidiga skeden. Applikationen kan bland annat användas för att utföra kalkyler och kanaliseringar, vilket kan leda till tids- och kostnadsbesparingar. BIP-AI kan reducera mellan 85–95% av arbetstiden och kan även effektiviseras ytterligare ju fler data som samlas in och används som underlag för maskininlärning (Brohn, 2022).

Det växande intresset för språkmodellen ChatGPT kan också fördelaktigt användas i branschen. Analysen som kan genereras av språkmodellen leder till större potential för att erhålla felfria projekt genom att granska virtuella material baserat på fördefinierade forskrifter.

Artificiell intelligens, inklusive innovationer såsom maskininlärning och Natural Language Processing har potentialen att revolutionera flera aspekter inom ACE-branschen. Genom förutsägning av kostnadsbehov, identifiering av möjliga förseningar, optimering av energianvändning och förbättring av byggnadsdesign erbjuder implementering av AI betydande fördelar. Dessutom kan AI:s noggranna analyser, övervakning av hälsotillstånd, förutsägning av framtida händelser, underhållsbehov och stöd vid beslutsfattande processer bidra till förbättring av säkerheten på byggarbetsplatser (Saka, o.a., 2024).

Regelverk och krav för inomhusklimat

Regelverk för dimensionering av luftflöden beror främst på vilken verksamhet som bedrivs i byggnaden. Luftflöden för utrymmen där människor tillbringar en stor del av sin tid, såsom sjukhus, skolor, kontor, hotell och industrier, bör enligt arbetsmiljöverket ha flöden som inte understiger:

$$7 \text{ l per s och person} + 0.35 \text{ l per s och m}^2 \text{ golvarea} \quad [\text{ekv. 1}]$$

Ekvation[ekv. 1] är ett hygienkrav och räcker oftast inte för stora lokaler med interna belastningar. För sådana fall bör komfortluftflöde beaktas också:

$$V = \frac{\rho c_p (t_f - t_t)}{Q} \quad [\text{ekv. 2}]$$

Där:

Q = ventilationsluftens kylande effekt [W]

ρ = Luft densitet ca $1,2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

c_p = Luftens specifika värmekapacitet ca $1 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$

V = Luftflöde [m^3/s]

t_f = Frånlufts temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

t_t = Tillufts temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

För idrottshallar och gym behöver luftflödet anpassas efter behov och aktivitetsnivå, eftersom fysisk aktivitet genererar mer fukt och värme än vila. Enligt Folkhälsomyndigheten, uteluftsflöde i gym räknas med hänsyntaget till 10–15 l/s och person (Folkhälsomyndigheten, 2023).

Krav gällande minimiluftflöde i bostäder enligt Boverkets Byggregler (2023) ligger på 0.35 liter per sekund per kvadratmetergolvyta. För bostäder med ventilation som styrs enskilt för varje lägenhet kan ventilationssystem utformas genom reglering och anpassning efter behov och närvaro, med förutsättning att flödet av uteluft inte understiger 0,1 liter per sekund per kvadratmetergolvyta när bostaden är tom (Boverket, 2023). Gällande regelverk och praxis för bostäder, fördelas uteluftsflöde så att sovrum får 4 liter per sekund och resterande mängd fördelas på andra delar av lägenheten (Warfvinge & Dahlblom, 2020).

Enligt Folkhälsomyndighetens allmänna råd, sätts luftomsättning i bostäder till 0,5 rumsvolym per timme och gällande ventilation ska den antingen vara minst 0,35 liter per sekund per kvadratmeter eller 4 liter luft per sekund per person. Samtidigt ska koldioxidhalten hållas under 1000 ppm för att betraktas som välfungerande ventilation (Folkhälsomyndigheten, 2014).

Enligt rekommendationer och praxis för ljudalstring, ska ljudnivån hållas under 30 dB vid 40–50% av don öppning, medan hastighet i kanalen ska vara mellan 2–8 m/s och tryckfall

ska inte överstiga 1 Pa/m (Warfvinge & Dahlblom, 2020). Rekommendationen på tryckfall existerar i syfte att minska energianvändning. Gällande kraven på luftflödes hastigheter kan de variera beroende på kanaltypen. Den högsta hastigheten brukar förekomma nära huvudkanalen, det vill säga närmare fläkten, medan den lägsta hastigheten är vid donanslutningen. Eftersom höga hastigheter medför höga bullernivåer och kan påverka miljön i utrymmena, bör lufthastigheten därför vara ganska låg, närmare värdet på 2m/s vid donanslutning i det försörjande utrymmet. Dessutom ligger kravet för bullernivå i bostäder runt 35 dB under dagtid och får inte överstiga 30 dB vid nattid (Warfvinge & Dahlblom, 2020).

2 Befintliga metoder och verktyg för VVS-projektering

I detta kapitel presenteras VVS-projektering utifrån genomförande med traditionella metoder. Med andra ord, så som konsulterna projekterar idag, samt om det finns potential för vidareutveckling av den traditionella metoden i syftet att effektivisera arbetet. Dessutom kommer några utmaningar och begränsningar som kan uppstå under projekteringen lyftas fram.

2.1 Traditionella metoder för projektering

Konsulten Christopher Fischel (2023) påpekar i bloggen, *VVS-projektering: nyckeln till effektiva och hållbara byggnader*, att VVS är ett av de mest kritiska områdena vid planeringen och byggnadsutformning eftersom det omfattar design av olika komponenter och spelar en stor roll för inomhusmiljö, miljöeffektivisering och hållbarhetspåverkan.

I bloggen beskrivs VVS-projekteringen som en noggrann process med mycket planering som består av olika steg och krav. Det första stadiet i projekteringen, enligt Fischel (2023), är förhandlingar mellan VVS konsulter, byggare och arkitekter för att identifiera tydliga mål, användarbehov och projektomfattning. Därefter påbörjar konsulterna designprocessen och tar fram flöden och värmebehov genom noggranna beräkningar. Detta stadie är viktigt för att fastställa storleken på system, kostnader och energianvändning. Därefter kommer projekteringsstadiet och påbörjas när konsulterna ritar och tar fram en detaljerad utformning av systemet, det vill säga kanaler och rör, ska dras ut för ventilation och värme samt avlopp och tappvatten (Fischel, 2023).

Enligt Catarina Warfvinge och Mats Dahlblom (2020) omfattar konsulternas arbetsuppgifter flera arbetsområden och det är svårt att definiera exakt hur konsulterna väljer att genomföra processen. I tidiga skeden samarbetar konsulterna med bland annat arkitekterna för att besluta om vissa ytor som exempelvis är anvisade för värmecentralen eller pannrummet. Därefter tar konsulterna reda på kraven och föreskrifter gällande lämpliga lufttemperaturer för varje rum. Utifrån kraven beräknar konsulterna vidare mängden värme och kyla som behöves tilldelas i respektive rum samt det totala ventilationsluftflödet. Utifrån interna värmebelastningar väljs det dimensionerande ventilationsluftflödet, dvs om det är hygienluftflöde eller komfortluftflöde, vilket görs i syftet att uppfylla de klimatkrav som finns i regelverk för inomhusklimat (se kapitel Bakgrund 1.5). Därefter väljs systemkomponenter, design där konsulterna ritar kanaler från och till luftbehandlingsaggregatet till respektive rum i byggnaden. Sista och viktigaste arbetsuppgiften som en konsult kan ha i projekteringskedet är att räkna ut tryckfall i systemet och bestämma hur det ska justeras och regleras på bästa sätt för att vara effektivt och samtidigt vara anpassningsbart efter verksamhetens behov (Warfvinge & Dahlblom, 2020).

2.2 Digitala verktyg och mjukvaror inom VVS

Sverige började tillämpa CAD-system i byggbranschen redan på 1980 talet, där konsulterna, på grund av kostnadsskäl, fick projektera via uppkoppling till en gemensam dator (Käll & Genberg, 2000). Sedan dess har flera olika programvaror utvecklats och integrerats i projekteringskedet, bland annat AutoCAD, MagiCAD, och Revit. Dessa verktyg tillämpas inom moderna VVS-projektering och används främst för att lätt och effektivt göra detaljerade ritningar av systemen. Genom att använda MagiCAD, AutoCAD och Revit blir det möjligt att illustrera kanal- och rörsystem i 3D samt korrigera

ritningar i efterhand. Dessa programvaror underlättar samarbetet mellan olika discipliner oavsett vart i projektet konsulterna befinner sig (Fischel, 2023). Dessutom bidrar CAD-tekniken till insamling och exportering av information så att varje aktör i projektet kan lätt nå och extrahera information från CAD-filen för att sedan använda det som indata för något annat moment i arbetet (Käll & Genberg, 2000). Samtidigt underlättar dessa programvaror projekteringsprocessen och bidrar till tids- och kostnads besparningar då filerna i efterhand kan omvandlas till IFC-format.

Dessa filer kan kombineras med andra IFC-filer från olika discipliner och granskas tillsammans i syfte att upptäcka kollisioner i tidiga skeden samt att identifiera potentiella risker och problem som kan uppstå vid byggnation. Både CAD och IFC bidrar till smidigare samarbete och bättre kommunikation mellan olika discipliner och organisationer, vilket leder till mer effektiva och välgenomtänkta projekt (Fischel, 2023). Fischel anser att digitaliseringen ökar kreativitet och leder till innovativa lösningar för problem inom byggbranschen.

2.3 Utmaningar och begränsningar inom de befintliga projekteringsmetoderna

Fischel har identifierat utmaningar som kan begränsa konsulternas arbete, såsom hur utveckling och konstruktion av ett välfungerande installationssystem kan påverka kostnaderna både under drift och underhållsfasen. Ytterligare utmaningar uppstår när man behöver skapa och leverera ett system som ska vara optimalt för användare, uppfylla deras krav men samtidigt vara anpassningsbart för att kunna leverera hög kvalitet med låga kostnader (Fischel, 2023).

Varje projekt är unikt i sig och har olika krav. Därför behöver VVS-ingenjörer utföra långa, omfattande beräkningar för systemdimensionering och design av kanalisering som oftast genomförs med den traditionella metoden. Dessutom brukar arbetet inom designprocessen vara sekventiell och vid minsta ändringen påverkas resten av beräkningarna, vilket leder till upprepning av arbete och kräver längre tid för att åtgärda ändringarna. Detta kan i slutändan påverka utfallet av det färdigt projekterade projektet (Wang, o.a., 2021).

Veronica Urena (2024) beskriver i artikeln *VVS-projektering: En grund till effektiv värme, ventilation och sanitet* att de största utmaningarna som en VVS-konsult kan stöta på är att projektera ett system som ska vara flexibelt och kunna modifieras över tid. Systemet behöver också vara lätt att anpassa över tiden, så att det blir möjligt för att utföra eventuella ändringar i systemet och täcka framtida användning i samband med ombyggnation av byggnader. Dessutom behöver konsulterna beakta luftkvalitet, fukt, akustik och vibrationer vid design av systemkomponenterna för att uppnå ett hälsosamt inomhusklimat. Idag spelar VVS-system en betydande roll för hållbar utveckling. Det handlar om att minska mängden energi som används i de olika systemen samt minska klimatpåverkan genom att tillämpa förnybara energikällor, värmeåtervinning och smarta system som är anpassningsbara efter behov. Dessutom tar VVS-projektörer hänsyn till systemets livscykelkostnader och säkerställer att en kostnadseffektiv lösning tillhandahålls över tiden (Urena, 2024).

3 Artificiell Intelligens

Människor har alltid velat förstå sig på sinnet. Man har försökt att förstå handlingar och beteenden för att kunna påverka och manipulera världen runt om. Från filosofernas reflektioner till vetenskapsmännens banbrytande teorier har det sakta men säkert drivit denna utveckling till nutid. Tiden där man inte bara har gjort ett steg närmare förståelsen, utan ett steg närmare att faktiskt bygga en intelligens (Russel & Norvig, 2022). Syftet med detta kapitel är att ge en grundläggande förståelse av artificiell intelligens genom att undersöka dess framväxt, definition och de grundläggande inlärningsmetoderna.

3.1 Definition av AI

Artificiell intelligens, eller bara AI, är en konstgjord framtagen intelligens i syfte att efterlikna det mänskliga beteendet som även har en förmåga att öka sin förståelse baserat på sina tidigare erfarenheter (Russel & Norvig, 2022). Enligt *Europeiska kommissionens* rapport från 2018 har AI definierats som:

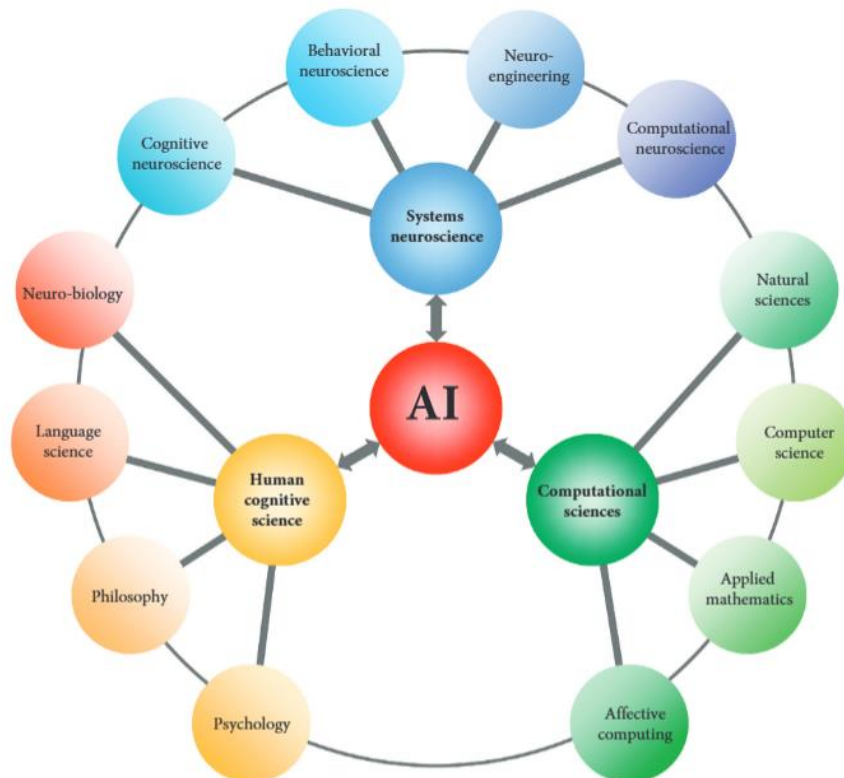
“Artificiell intelligens avser system som uppvisar intelligent beteende genom att analysera sin miljö och vidta åtgärder – med viss grad av självständighet – för att uppnå miljö särskilda mål.” (Europeiska Kommissionen, 2018).

Denna definition återspeglar endast en bråkdel av alla egenskaper förknippade med AI. Eftersom AI är under ständig utveckling har definitionen varierat avsevärt genom åren, vilket troligtvis kommer att fortsätta. Samtidigt är AI ett komplext begrepp och kan vara svårt att definiera och förklara utan fördjupning i detaljerna. Förståelsen varierar starkt beroende på individens kunskapsnivå och expertis inom ämnet. För en person med matematisk bakgrund kan själva underliggande algoritmerna vara intressanta och lätta att förstå, medan för en person utan samma bakgrund kan praktiska exempel och deras funktionalitet vara mer lämpliga.

Oavsett bakgrund och intresseområde bygger AI på grundläggande principer om rationellt tänkande och förmågan att fatta välgrundade beslut, vilket senare kommer att beskrivas i nästkommande rubriker. Däremot påpekar Russel och Norvig i sin bok *Modern Approach* att tolkningen av vad som menas med ”korrekt beslut” kan skiljas från person till person och beror på individens val att fokusera på tankeprocessen eller på själva beteendet. Trots dessa skillnader är syftet i slutändan detsamma. När AI får en uppgift ska den, baserat på den kunskap den tillhandahåller, kunna ta det mest rätta beslutet för just den specifika situationen (Russel & Norvig, 2022).

3.2 Historisk framväxt

Ursprunget till dagens artificiella intelligens kan spåras tillbaka till en tid långt före dagens teknologiska era och har sina rötter i flera vetenskapliga områden, se Figur 1. Det var under den tiden då samhället präglades av filosofer och vetenskapsmän som med sina teorier om världen formade samhället. De idéer och tankar som väcktes under denna tid anses idag ha en direkt koppling till AI:s historia och framväxt. Eftersom AI:s utveckling har grundats i flera vetenskapliga grenar kan listan av historiska händelser och personer blir oändligt lång. Med denna anledning, valdes endast ett fåtal som ansågs ha spelat en betydande roll för utformningen av AI.



Figur 1: AI inom olika vetenskapsgrenar (Kuleshov & Cichocki, 2021)

En av de första personerna som hade en grundläggande koppling till AI levde redan under Antikens Grekland och hette Aristoteles. Han var främst känd för sina banbrytande insikter inom logik och för hans övertygelse om att korrekta slutsatser kan åstadkommas med hjälp av korrekta premisser (Ireland & Kai Bradford, 2020). Aristoteles ansåg att för att framgångsrikt förvärva ny kunskap krävdes uppdelning av processen i tre steg: först att samla så mycket data som möjligt, sedan att organisera den inkommande informationen och slutligen dra slutsatser från observationerna (Hildingson, 2020). Han var också den första som introducerade begreppet ”rationellt tänkande”, vilket har blivit en av AI:s grundläggande komponenter (Russel & Norvig, 2022).

Leonardo da Vinci hade också en roll i utveckling av AI. Han var mest känd för sina revolutionerande verk inom konst och arkitektur och dessutom var en talangfull ingenjör och vetenskapsman (Tillberg, 2024). Omkring år 1500 designade han den första versionen av dagens mekaniska miniräknare, vilket innebar ett stort framsteg för teknologins framtid. Trots att hans design aldrig testades i praktiken, visade senare forskning att den faktiskt var funktionell (Russel & Norvig, 2022). Detta var ett banbrytande framsteg i att faktisk kunna bygga en maskin som skulle utföra beräkningar åt människor.

Flera år senare, närmare bestämt år 1651, föreslog Thomas Hobbes i sin bok *Leviathan* en idé om en tänkande maskin. ”For ’reason’...is nothing but ’reckoning’ that is adding and subtracting” är ett känt citat från *Leviathan* som även tas upp av författarna i *Modern Approach* och styrker ytterligare Hobbes förklaring att människornas förnuft grundas på beslut baserade på matematik och logik (Russel & Norvig, 2022).

Det var dock inte förrän år 1950 som idén om en tänkande maskin började ta form och blev verklig. Detta inträffade i samband med Alan Turnings rapport *Computing Machinery and Intelligence*. I rapporten utforskades olika aspekter om datorn verkligen

kunde tänka och utgjorde grunden till vad som senare skulle bli känt som ”Turning test”. Testet bestod ursprungligen av fyra delar som skulle bedöma en maskins förmåga att tänka, vilket senare kompletterades med ytterliggare två punkter (Russel & Norvig, 2022). Själva testet gick ut på att en person skulle integrera med två andra deltagare, där den ena var en riktig person och den andra var en dator (Elements of AI, 2024). Tyvärr, fick Turning möta mycket motstånd som var riktad mot hans idéer och mot själva utvecklingen av AI, men samtidigt har det blivit en inspirationskälla för vidare forskning hos andra.

Det största riktiga genombrottet inom artificiell intelligens inträffade år 1956 av John McCarty, professor på Dartmouth College. Tillsammans med Marvin Minsky, Claude Shannon, och Nathaniel Rochester höll han i en 2 månader lång workshop under det engelska namnet *Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*. Målet med workshopen var att övertyga andra framgångsrika forskare inom kognitiva- och datorvetenskapliga områden om att de hade hittat artificiell intelligens (History of Data Science, 2021). Tyvärr, på grund av komplexiteten i AI:s utveckling och svårigheter med finansieringen, ledde forskningen inte till några stora framsteg och resulterade i en period av nedgång, känd som ”AI vinter” fram till år 1990 (History of Data Science, 2021).

Även om det gjordes vissa framsteg inom området artificiell intelligens under 1990-talet, var ämnet fortfarande okänt för allmänheten. Samtidigt fortsatte utveckling av datorer i växande fart och det var först under år 1997 som AI blev omtalad igen. Detta inträffade när schackdatorn Deep Blue, uppbyggd och programmerad av algoritmer för att utvärdera spelets strategi och drag, besegrade den regerande världsmästaren Garry Kasparov. Denna händelse blev ett bevis att datorn kunde utmana och överträffa människor intellektuellt (Mehan, 2022).

3.3 Kategorisering av AI

När man pratar om AI brukar man vanligtvis dela upp begreppet i tre huvudkategorier, baserat på graden av komplexitet och utveckling av intelligensen: *Artificial narrow intelligence* (ANI) som har en begränsad kapacitet, *Artificial general intelligence* (AGI) som efterliknar människans intellektuella förmågor och *Artificial superintelligence* (ASI) som överträffar människans intellekt på alla områden (Mehan, 2022).

ANI, som är den första kategorin, betraktas vanligtvis som den svagaste av de tre och har funnits i människans vardag under de senaste åren. Den har förmåga att utföra uppgifter såsom igenkänning av bilder, röststyrning, översättning, spamblockering och andra assisterande funktioner som finns hos bland annat ChatGPT och Siri (Klinger, 2024). ANI bygger på olika algoritmer som med hjälp av stora mängder data lär sig att känna igen vissa mönster och kan förutse möjliga utfall.

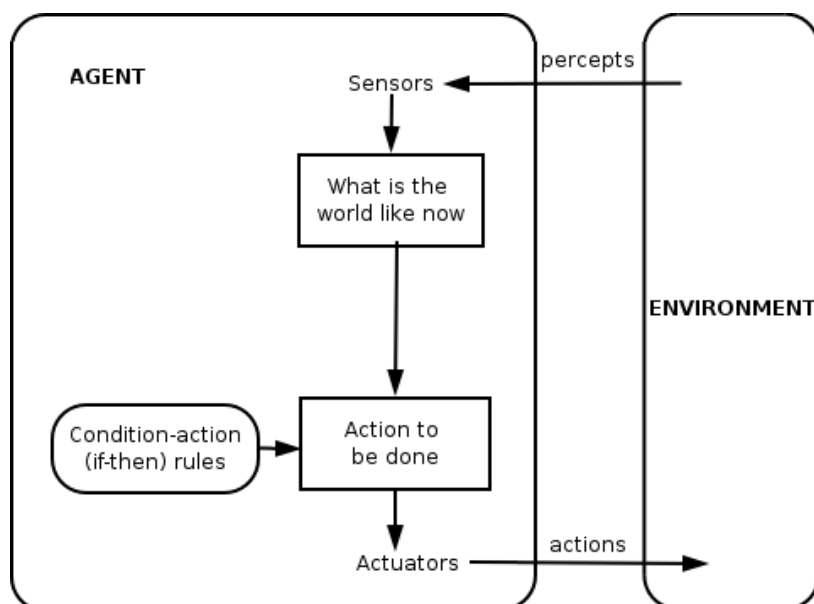
När det gäller AGI och ASI är det fortfarande två hypotetiska kategorier som inte har blivit utvecklade än, åtminstone inte fullt ut. Både AGI och ASI, till skillnad från ANI, ska kunna tänka själva och dra på egna slutsatser baserat på sin kunskap om den omgivande miljön. De båda ska kunna efterlikna människans intellektuella förmågor och förstå de bakomliggande tankeprocesserna, inte bara imitera dem (Klinger, 2024). De senaste framstegen inom AI har tagit människor närmare AGI, vilket förväntas vara behjälpligt inom bland annat medicin och systemoptimering (Kennedy, 2023). När det gäller ASI är det fortfarande en avlägsen hypotes som än så länge har bara diskuterats av

filosofer och beskrivits i science fiction litteraturen. Det spekuleras att ASI kommer att ha förmågan att inte bara förstå människornas känslor och behov, utan också utveckla egna (Mehan, 2022).

Intelligenta agenter

För att uppnå ett gynnsamt resultat är det viktigt att välja den mest lämpliga lösningsstrategin med hänsyn till de tillgängliga förutsättningarna. För att kunna göra det krävs en grundläggande förståelse för den omgivande miljön. Exempelvis, tar människor hjälp av sina sinnen och sin kropp, medan en robot behöver sensorer och kameror för att identifiera sin omgivning (Russel & Norvig, 2022). Kvalitén och tillförlitlighet hos det resulterande utfallet påverkas av hur väl detaljerad den tillgängliga informationen har varit. Därför krävs det ett system som kan bearbeta och hantera den inkommande informationen för att uppnå det önskade resultatet.

Inom datorvetenskap och programutveckling används ofta begreppen agent eller beslutsfattare för att beskriva olika lösningsmekanismer hos ett system (Microsoft, 2023). De bygger på algoritmer och kan därmed skiljas en del beroende på sin komplexitet och mängden tillgängliga data. Enligt den matematiska definition från boken *Modern Approach*, kan en agents beteende beskrivas med en funktion som kartlägger och förvandlar den observerade miljön till handling. Deras roll är att med hjälp av självständigt arbete, analys av omgivningen och anpassningsförmåga kunna uppnå det mest optimala resultatet. Från början var agenternas kapacitet begränsat till bara logiska operationer vilket har på senare tid kompletterats med sannolikhets teori och de senaste innovationerna från maskininlärningen (Russel & Norvig, 2022).



Figur 2: teoretisk representation av agenternas arbetsflöde, bild tagen från (Wikipedia, 2024)

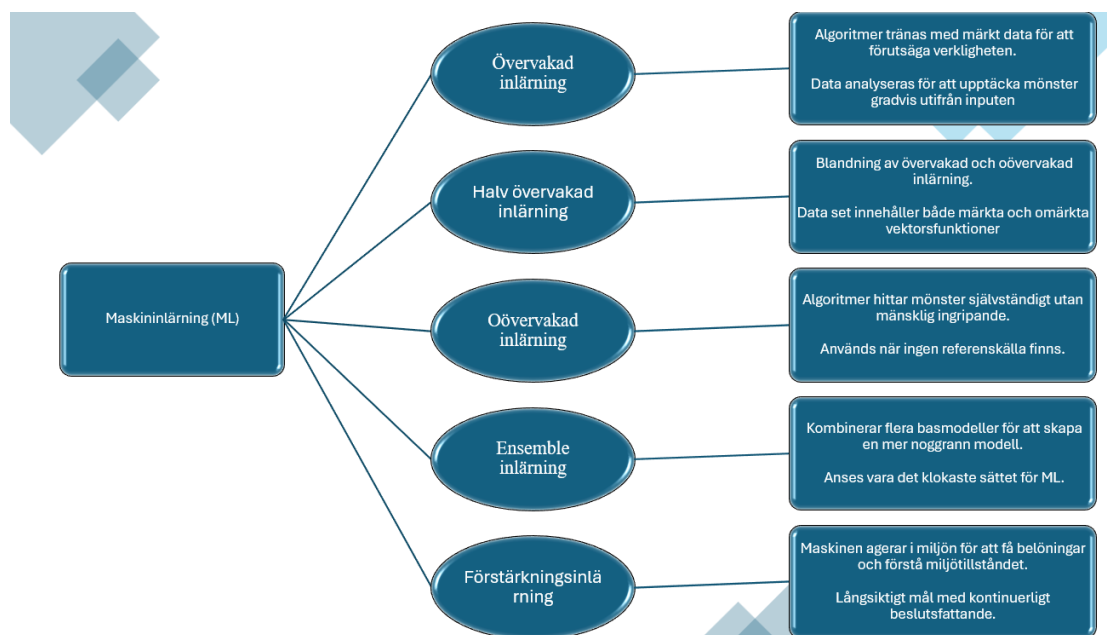
I Figur 2 presenteras ett enkelt exempel på hur agenter fungerar. Antal steg och de valmöjligheter som ges beror helt och hållet på agenternas kunskapsnivå och träning. Med andra ord, för att en agent ska kunna leverera det bästa resultatet behöver den tränas med hjälp av olika algoritmer och omfattande mängd träningsdata. Detta ger agenten möjlighet att fatta de mest gynnsamma besluten och förbättrar förmågan att tolka omgivningen.

3.4 Maskininlärning

Stora företag använder maskininlärning för att underlätta för samhället och människor att få bättre upplevelse av deras tjänster. Exempel på sådana företag är Google där maskininlärning tillämpas för att assistera människor med deras informationssökningar och ge bättre skydd på användares data utan att utvecklaren behöver ändra det manuellt (NordVPN, 2024, a).

Maskininlärning är en del av datorvetenskap som grundas på algoritmer som samlar och lagrar information. Algoritmerna, enligt Andriy Burkov (2019), kan antingen vara ett resultat från människors erfarenheter (algoritmvecklare), eller kan genereras av andra algoritmer. Boken *The Hundred-Page Machine Learning Book* beskriver maskininlärning som en process där algoritmer samlar data och använder statistiken för att senare bygga upp en modell för att lösa vissa typ av problem (Burkov, 2019).

Maskininlärning kan delas in i olika kategorier av inlärning se Figur 3. Burkov påpekar att maskininlärning kan betraktas som övervakat inlärning (supervised), halv övervakat inlärning (semi supervised), oövervakad inlärning (unsupervised), förstärkt inlärning (reinforcement) och ensembleinlärning (Burkov, 2019).



Figur 3: en sammanfattande bild på olika modeller av maskininlärning. Inspiration till bilden tagen från (Mehan, 2022)

Övervakad inlärning (Supervised)

Enligt Microsoft är övervakad inlärning en form av maskininlärning där algoritmerna tränas upp och lär sig av den insamlade data för att sedan kunna generera en modell och som kan förutsäga verkligheten (Microsoft, 2024, a). Dataingenjörer tränar maskinerna att självständigt komma fram till korrekta svar, även om algoritmvecklare redan har tillgång till svaren på problemen (Microsoft, 2024, b). Denna typ av maskininlärning bygger på algoritmernas analys av indata i form av texter eller bilder för att därefter identifiera, upptäcka och lära mönstren för att gradvis kunna omvandla inputen till den önskade output utan mänsklig inverkan (NordVPN, 2024, a).

Målet med en algoritm i en övervakad inlärning, enligt Burkov (2019), är att använda data för att skapa modeller som tar funktionsvektor som indata och leverera utdata som kan kategoriseras under olika etiketter för denna funktionsvektor. På detta sätt kan algoritmerna utveckla och utöka sin kunskapsbas över tid (Burkov, 2019).

Ett exempel på detta är när maskininlärningsalgoritmer får bilder på olika bilmärken som är märkta med etiketten ”bil”, då lagrar algoritmerna bilder under etiketten bil. Utifrån detta exempel utökar algoritmerna sitt kunskapsförråd så att den fortsätter tilldela etiketten ”bil” till nya bilder av bilar så snart den känner igen det (Mehan, 2022).

Halvövervakad inlärning (Semi supervised)

Halvövervakad inlärning, som ibland översätts till semihandledd inlärning, är en kombination av både övervakad- och oövervakad inlärning (NordVPN, 2024, a). Denna metod använder datamängder som omfattar både märkta och omärkta funktionsvektorer. Målet med algoritmer för semihandledd inlärning är detsamma som för övervakade inlärningsalgoritmer, nämligen att utnyttja de omärkta exemplen för att utveckla och förbättra modellens precision (Burkov, 2019). Denna sort av algoritm är mest lämplig när det inte finns tillräckligt med data för att inlärning ska kunna ske automatiskt (NordVPN, 2024, a).

Oövervakad (Unsupervised)

Denna typ av inlärning är självständig, vilket innebär att algoritmerna själva hittar och identifiera mönstret i data och lär sig utan mänsklig inblandning. Detta sätt är generellt mindre noggrann jämfört med de andra sorters inlärning. Detta beror på att algoritmerna hittar mönstret i data utan att ha någon extern referenskälla. Å andra sidan, algoritmernas förmåga att hitta mönster själv gör att det kan hantera mer komplexa uppgifter jämfört med de andra inlärningsmetoder (NordVPN, 2024, a).

Burkov (2019) betonar att oövervakad inlärning innefattar dataset som är i sin tur består av en samling av omärkta vektorfunktioner, som har uppgiften att skapa en modell som antingen omvandlar vektorer till en andra vektor eller att ge ett värde som kan användas för att lösa ett problem (Burkov, 2019). Inom denna typ av inlärning tilldelar en dataexpert en bild av tex grupp av hundar, och algoritmernas har ansvar att analysera data och dra slutsatser om det verkligen är en hund som visas i bilden eller om det är något annat (Mehan, 2022).

Förstärkningsinlärning (Reinforcement)

Förstärkningsinlärning är en metod inom maskininlärning där en agent (maskinen) kan uppfatta miljön i omgivningen i form av funktioner och vektorer. Med hjälp av denna teknik kan maskinen (agent) utföra olika åtgärder i alla möjliga tillstånd i syfte att erhålla en form av belöning (Aleksa, 2022). En sådan typ av belöning kan exempelvis vara olika signaler som visar agenten om den har tagit rätt åtgärd eller inte (eitca.org, 2024). Dessa belöningar bidrar till utveckling av agentens förståelse för miljön och förbättrar dess förmåga att fatta mer relevanta och säkra beslut över tid, för att maximera dess belöning. Algoritmerna inom förstärkningsinlärning syftar till att lära sig principer och metoder för att lösa och hantera vissa typer av problem där målet är långsiktigt och kräver kontinuerligt beslutsfattande. Exempel på tillämpningar som lyfts fram i boken *The Hundred page machine learning* för denna typ av inlärning var spel, robotik (robotar utvecklar sina färdigheter), resurshantering eller logistik (Burkov, 2019). Julie Mehan (2022) förklarar att förstärkningsinlärning involverar att experter definierar det önskade

resultatet utan att specificera hur agenten ska uppnå resultatet och vad är det bästa sättet att nå dit. Genom repetition och upprepning blir processen effektivare och enklare för agenten att undvika misstag, minimera fel och lära sig utan mänsklig inblandning (Mehan, 2022).

Ett illustrativt exempel på förstärkningsinlärning finns i artikeln *Förstärkningsinlärning: Vad är algoritmer, applikationer, exempel* skriven av Balanced body articles (2021). Detta exempel använder en katt som ska lära sig ett nytt trick, exempelvis att sitta. I detta fall representerar sitt handlingen miljön och katten därmed representerar agenten. Eftersom katten inte förstår mänskligt språk, tillämpas en belöningsstrategi. Denna strategi innebär att skapa upprepade situationer där katten reagerar på olika sätt och vid varje korrekt beteende belönas katten med en fiskbit. Genom att utsätta katten för samma situation flera gånger associerar katten handlingen med belöningen och lär sig gradvis vad som krävs för att erhålla belöning. På detta sätt analyserar katten sitt beteende och dess konsekvenser, samt undviker sådana beteenden som leder till negativa resultat. Detta exempel enligt artikeln utgör kärnan i förstärkningsinlärning, nämligen att handlingar förstärks genom konsekvenser av den utförda beteenden vid upplärning (Balanced body articles, 2021).

Ensembleinlärning

Det är en typ av maskininlärning som kombinerar fler olika grundmodeller för att skapa en sammanslagen och mer noggrann modell utifrån insamlade förutsägelser. Ensembleinlärning anses vara AI:s klokaste och den mest precisa modell för maskininlärning jämfört med de tidigare nämnda inlärningsmodellerna (Mehan, 2022).

Ensembleinlärning är en inlärningsmetod som lägger fokus på att utnyttja svaga modeller som har låg noggrannhetsgrad, snarare än att enbart fokusera på inlärning från den exakta modellen. Logiken med sådan typ av inlärning är att varje modell inom ensemble innehåller ett beslutsträd, och genom att kombinera flera sådana träd, som inte är identiska, ökar chansen att varje träd åtminstone presterar bättre än en slumpmässig gissning. Detta sammanslagna tillvägagångssätt leder till en förhöjd noggrannhet (Burkov, 2019).

Dessutom beskriver Julie Mehan (2022) att ensembleinlärning funkar på två sätt, det ena sättet är att tillämpa olika algoritmer i samma dataset eller genom att träna upp AI med andra dataset med samma algoritm. Algoritmen i detta fall beskriven som linjär regression, stödvektormaskiner, regressionsträd eller neurala nätverk (Mehan, 2022).

Djupinlärning

Skillnaden mellan ytlig- och djupinlärning ligger i att ytlig inlärning använder algoritmer som lär sig direkt från träningsfunktioner, vilket består endast av ett lager av in- och utdata (Burkov, 2019). I motsats till detta bygger djupinlärning på flera komplexa och sammankopplade lager av data som bygger på varandra.

Övervakad inlärning är den vanligaste formen för ytlig inlärning (Burkov, 2019). Burkov (2019) understryker också att djupinlärning innebär att träning av neurala nätverk med hjälp av algoritmer och funktioner, som är oberoende av nätverkens djup. Detta innebär att både teknikerna och principerna för att träna neurala nätverk kan tillämpas oavsett antal lager i nätverket.

Djupinlärning definieras också av Microsoft (2024) som en form av maskininlärning som använder neurala nätverk och tillåter digitala system lära sig från ostrukturerade och objektiva data, i syftet att underlätta beslutsfattande och utveckla dess kunskaper. Djupinlärning är lämpligt för analysering av stora mängder data och hantering av komplexa, icke linjära uppgifter, såsom att svara på text eller bilder. Detta betraktas vara mer exakt och snabbare jämfört med mänskliga metoder (Microsoft, 2024). Å andra sidan definierar Ugnė Zieniūtė på *NordVPN* djupinlärning som en teknologi som efterliknar mänskligt inlärningsprocesser och beteende genom att analysera data i minst tre lager av neurala nätverk. Den erhållna resultaten från analysen används senare för att klassificera och sortera nya information självständigt. Exempel på sådana applikationer är översättningssidor och Chatbotar som är mer vanligt förekommande nuförtiden (Zieniūtė, 2023). Med neurala nätverk menas en digital arkitektur för att modellera komplexa mönster, göra förutsägelser och agera på externa signaler. Dessutom efterliknar neurala nätverk mänskliga kognitiva processer (Microsoft, 2024).

3.5 AI gränssnitt

Utvecklingen inom Artificiell intelligens (AI) har enligt *GPT models in construction industry: Opportunities, limitations, and a use case validation* lett till betydande framsteg inom utveckling av konversationell AI och generativ AI. Konversationell AI använder sig av Natural Language Processing (NLP) för att möjliggöra för datorer att förstå och delta i mänskliga konversationer i form av dialoger. Natural language och konversationell AI är grunden till skapandet av de interaktiva konversationerna hos chatbotar och de olika virtuella assistanserna såsom Alexa (Saka, o.a., 2024). NLP utgör en central roll till förbättrad användarupplevelsen genom mer naturlig interaktion och datatolkning av det mänskliga språket, oavsett om det handlar om skrift-, tal- eller bildformat (Coursera, 2024).

Generativa AI, å andra sida, fokuserar på att skapa och generera innehåll såsom text, ljud eller bilder. Genom att utnyttja det konversationella gränssnittet får användare bättre möjlighet till att lösa uppgifter snabbare, samtidigt som den underlättar informationssökning och tillhandhåller anpassat innehåll (Saka, o.a., 2024).

ChatGPT, som har blivit utvecklat av OpenAI, är ett av de mest kända och användbara AI-gränssnitt som majoriteten känner till. OpenAI presenterar ChatGPT på följande sätt:

” We’ve trained a model called ChatGPT which interacts in a conversational way. The dialogue format makes it possible for ChatGPT to answer followup questions, admit its mistakes, challenge incorrect premises, and reject inappropriate requests” (OpenAI, 2024).

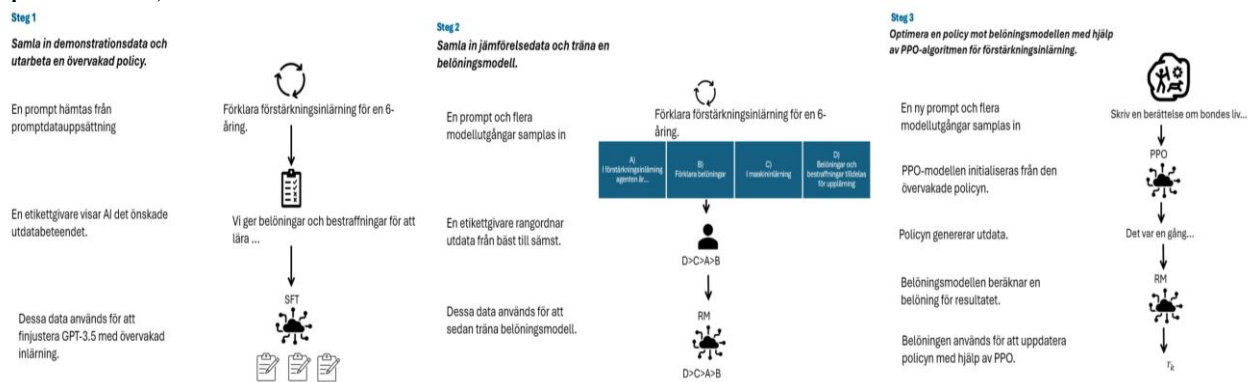
Enligt *GPT models in construction industry: Opportunities, limitations, and a use case validation* representerar ChatGPT en sammanvävning av den konversationella och generativa AI. Med andra ord är ChatGPT ett gränssnitt som tillämpar olika GPT-modeller beroende på versionen. GPT-modellerna, står för Generative Pre-trained Transformer, och dessa modeller har genomgått flera iterationer, där varje ny version förbättras genom att utöka träningsdata och parametrar. Idag finns det totalt fyra versioner av GPT-modellen, som kan tillämpas i flera områden, från den mest populära användningen nämligen ChatGPT, till utbildnings- och översättningssyften. ChatGPT kan även användas inom sjukvård för att analysera och sortera elektroniska hälsouppgifter och

journaler. Inom utbildningssektorn erbjuder modellen personligt stöd, flexibel inläring och utökad tillgång till efterfrågade kunskaper på ett effektivt sätt (Saka, o.a., 2024).

Generative Pre-trained Transformers (GPT-modeller) har utvecklats för att identifiera de statistiska mönster från Natural language, och generar sammanhängande text som liknar det som produceras av människor. Till skillnad från den traditionella NLP, som är beroende av regelbaserat system och direkt programmering av grammatikregler och meningsbyggnad, använder ChatGPT-modellen maskininlärningsalgoritmer och stora ostrukturerade datamängder för att träna och lära sig komplexa språkmönster utan behov av explicita regler. Den fjärde version av GPT-modellen har ytterligare förbättrat NLP-tekniken, vilket öppnar möjligheten till att tillämpa denna modell i olika sektorer (Saka, o.a., 2024).

OpenAI (2024) understryker att ChatGPT-modellerna sker genom förstärkningsinläring ”reinforcement learning” från användarfeedback, samt övervakat inläring där programmerare förser AI:n med konversationsexempel. Detta bidrar till att modellen inte bara får information från AI-utvecklare utan också från användarens perspektiv. Dessutom leder detta till förbättring av modellens förmåga att interagera på ett meningsfullt och relevant sätt (OpenAI, 2024).

ChatGPT enligt OpenAI (2024) genomgår tre huvudsteg för att träna upp modellen. Detta görs med hjälp av förstärkningsinläring, övervakat inläring, demonstrationer och data jämförelse. Varje steg har en specifik uppgift och utförs i syftet för att utveckla AI:s arbetsgång, se Figur 4 nedan. I det första steget samlas data som är påvisbar och en övervakningspolicy tas fram. Medan i det andra steget, jämförs data och belöningsmodellerna skapas för att sedan tilldelas i det sista steget. Slutligen i det tredje steget, optimeras policyn för belöningsmodellen med hjälp av PPO (proximal policy optimization)



Figur 4: AI:n arbetsgång och dess utvecklingsprocess. Inspiration till bilden tagen från (OpenAI, 2024)

Som all annan teknologi har även AI sina begränsningar, vilket lyfts upp av OpenAI enligt följande: Den första begränsning anses vara att ChatGPT kan i vissa fall genererar svar som vid första anblick verkar vara korrekt, men vid noggrannare granskning visar det sig att svaren är felaktiga eller orimliga. Detta fenomen kallas AI-hallucination. OpenAI (2024) betonar att detta problem är svårt och utmanande att åtgärda eftersom det kan beror på många olika orsaker (OpenAI, 2024).

Dessutom är ChatGPT-språkmodellen känsligt för hur frågorna formuleras. Ibland kan ChatGPT hävda att den inte kan utföra en viss uppgift, men ifall frågan ställs om med en

annan formulering kan den plötsligt ge ett korrekt svar. Detta betraktas vara en begränsning eftersom det beror på användarens noggrannhet med sina frågeställningar som tillämpas som indata (OpenAI, 2024).

En annan begränsning är att modellen har tränats för att generera detaljrika svar, vilket kan leda till problem med språk överoptimering, då AI-språkmodellen tenderar att generera längre svar, eftersom sådana svar har föredragits under träningen av den orsaken att detta ansågs vara mer omfattande (OpenAI, 2024). Dessutom är modellen begränsade när det kommer till den nuvarande versionen, eftersom den antar vad användaren avser med frågan snarare än att ifrågasätta användarens fråga om den var förvirrande, vilket ofta leder till felaktiga svar (OpenAI, 2024).

Vidare förklarar OpenAI (2024) att modellen använder ett gränssnitt kallat Moderation API (Application Program Interface). Ett vanligt API fungerar som en länk mellan olika program och har till uppgift att självständigt överföra information (Visma, 2024). Medan Moderation API, å andra sidan, är utformad för att identifiera och avvisa skadliga innehåll och olämpliga frågeställningar. Trots detta system förekommer ibland vissa förfrågningar som är olämpliga och kan leda till att språkmodellen svarar på skadliga instruktioner eller visar favorisering. I syftet för att åtgärda dessa problem, välkomnar OpenAI feedback från användare för att kunna utveckla systemet ytterligare och öka säkerheten (OpenAI, 2024).

4 Artificiell Intelligens ur ett hållbarhetsperspektiv

I detta kapitel kommer de olika studier som förknippas med AI och hållbarhet att presenteras, med målet att ytterligare förstå komplexiteten och bredden av innovationen. Med utgångspunkt från tidigare kapitel 3 kommer AI-trenden att studeras med hänsyn till de tre grundläggande hållbarhetsdimensioner: miljö, ekonomi och samhälle.

4.1 Översiktlig beskrivning av hållbarhetskonceptet

Begreppet hållbarhet introducerades av den amerikanske miljövetaren Lester Brown, men fick sin största genombrott år 1987 genom Bruntlandskommissionens rapport *Vår gemensamma framtid* (FN, 2024). I rapporten poängterades den stora betydelsen av samverkan mellan ekonomi, miljö och samhälle i syfte att uppnå den hållbara visionen. Dessutom betonade rapporten att hållbarhet inte kan uppnås genom att fokusera på varje enskild dimension, utan måste integrera samtliga tre (FN, 2024).

År 2015 bedrevs ett stort FN-möte där ledare från olika världsländer kom överens om 17 globala mål och 169 delmål i syfte att främja hållbar utveckling fram till år 2030 (Regeringskansliet, 2016). Dessa mål omfattade olika områden men kunde generellt placeras in i de tre ovan nämnda dimensionerna: ekonomi, samhälle och miljö. Mötet syftade till att skapa en handlingsplan för att praktiskt kunna genomföra målen. Dessutom betonades vikten av nödvändigt samarbetet mellan olika länder och stöd till låginkomstländerna i deras kamp mot problem, vilket framgick i Regeringskansliets uttalande (2016): ”Det behövs också globala och nationella krafttag mot illegala flöden av kapital och mot korrupktion” (Regeringskansliet, 2016).

Den senaste uppföljning av planen visar tyvärr endast små procentuella förbättringar bland målen, och i vissa fall försämringar. Enligt FN beror detta på de senaste historiska händelserna i form av pandemi, krig och ekonomiska svackor, vilka har tagit fokus i de politiska prioriteringarna av resurser (United Nations Development Programme, 2023). Den ökande trenden med artificiell intelligens har därmed öppnat upp för diskussioner kring dess potential att bidra till framsteg för de globala målen. Samtidigt har diskussionerna även beaktat de potentiella risker som kan utgöra ett hinder för planen. Enligt en forskningsanalys *The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals* kan AI eventuellt leda till en positiv inverkan på 134 delmålen, men samtidigt påverka 59 av dem negativt (Vinuesa, o.a., 2020).

4.2 AI:s eventuella bidrag till miljö, ekonomi och samhälle

Den omfattande utvecklingen av artificiell intelligens blir ett kraftfullt verktyg i bekämpningen av de globala utmaningar och problem, vilket ökar chansen att nå en starkare och ännu mer hållbar framtid. Till exempel har AI en förmåga att analysera och strukturera stora mängder data, vilket kan underlätta planering av hållbara städer och effektivisera användningen av resurser (Vinuesa, o.a., 2020). Detta har en betydande roll för disponering av markytor runt om i världen och kan leda till en mer strategisk och hållbar användning. AI kan även integrera smarta lösningar i redan befintliga system för att dynamiskt följa upp och anpassa dessa efter behov. Detta blir särskilt relevant med tanke på klimatförändringar, där AI:s förmåga att förutse möjliga utfall kan förbereda människor för eventuella scenarion och utmaningar (Nishant, Kennedy, & Corbet, 2020).

De praktiska tillämpningar som redan har börjat utforskas är exempelvis AI:s förmåga att med hjälp av maskininlärning identifiera och behandla skadliga partiklar i vatten, vilket förbättrar förutsättningar för bevarande av rent vatten. Dessutom kan AI analysera bilder och kartor, som kan vara användbart för att upptäcka eventuella förändringar i jord till följd av sjukdomar hos grödor (Kumar Kar, Kumari Choudhary, & Kumar Singh, 2022). Upptäckten i tidiga skeden kan förhindra förlust av skörden och motverkar matbrist. Denna förmåga kan även tillämpas i andra områden, såsom övervakning av skogsavverkning, trafikutformning och analys av de potentiella riskerna för kollisioner, samt hur cirkulär ekonomi kan anpassa sig efter de globala händelserna (Kumar Kar, Kumari Choudhary, & Kumar Singh, 2022).

4.3 Risker och utmaningar

Implementering av AI kan även ge upphov till risker och konsekvenser för framtiden och den hållbara utvecklingen. Förutom de positiva effekterna kräver användningen och utvecklingen av AI omfattande datorkapacitet och avancerade anläggningar för att hantera de enorma datamängderna (Nishant, Kennedy, & Corbet, 2020). Detta i sin tur kräver tillgång till stora markytor, vilket påverkar den närliggande miljön och dess resurser. Eftersom datorer och AI är beroende av elektricitet, resulterar driften av dessa anläggningar i hög energianvändning, vilket bidrar till höga koldioxidutsläpp och redan utgör ett problem för planeten. Enligt uppskattningen som har gjorts i rapporten *The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals* kommer den framtida elanvändningen för informations- och kommunikationsteknologin öka från dagens 1% till 20% (Vinuesa, o.a., 2020).

Människans sätt att leva och hur vi uppfattar världen kan också utsättas för prövningar. Enligt forskningsrapporten *The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals* innebär den stora AI-trenden en ökning av de ekonomiska och sociala klyftorna (Vinuesa, o.a., 2020). Anledningen till detta, enligt författarna, är att majoriteten av AI-forskare är verksamma i de rikare länderna, vilket blir svårt för de fattiga länderna att efterlikna. Utvecklingen sätter även större press på människornas utbildningsnivå för att kunna behålla sina jobb och inte bli ersatta av datorer (Vinuesa, o.a., 2020). Enligt Europaparlamentet förväntas utvecklingen av AI leda till att många jobb ersätts med nya, vilket gör utbildning och praktik till viktiga element på arbetsmarknaden (Europaparlamentet, 2023).

Eftersom AI tränas på insamlade data kan detta utgöra ett hot för vissa länder med bristande demokratiska och etiska grunder (Vinuesa, o.a., 2020). Detta kan i sin tur leda till utvecklingen i felaktig riktning och resultera i skeva framtidsvisioner och beslut gentemot samhällsminoritet. Denna problematik har redan uppmärksammats vid AI:s språkbehandling, där datauppsättningar tyder på bristande mångfald och föråldrande könsstereotyper (Vinuesa, o.a., 2020).

Dessa risker och utmaningar som kan utvecklas vid implementering av AI sätter ännu högre krav på regler och informationshantering. Eftersom den enorma utvecklingen sker så snabbt innebär det att dessa risker inte hinner bli tillräckligt granskade och analyserade ur ett hållbarhetsperspektiv och kunna uppskatta dess eventuella påverkan på framtiden (Vinuesa, o.a., 2020).

5 Översikt över AI tillämpningar inom bygg- och VVS sektorn.

Under den senaste tiden har artificiell intelligens blivit ett intresseområde för flera branscher, och byggsektorn utgör inget undantag. Detta kapitel kommer studera några befintliga projekt som redan har börjat implementera AI i sitt arbete. Det ena projektet har utförts med hjälp av BIP-koder och ett projekt som har utvecklats internt på Chalmers och beskriver användning av AI och dess sammankoppling till virtual reality (VR) inom byggnadsplanering.

5.1 Kollaborativ informationsstruktur

Kollaborativ informationsstruktur är ett projekt initierat av Shahin Sateei, Mattias Roupé och Mikael Johansson inom ramen för Smart Built Environment som grundades år 2016. Det är 1 av totalt 17 strategiska innovationsprogram där målet är att öka Sveriges konkurrenskraft på den globala marknaden och stödja forskningen inom digitalisering av byggbranschen (Smart Built Environment, 2024). *Kollaborativ informationsstruktur* syftar till att utveckla innovativa lösningar som kan tillämpas i olika projekt. Dessutom utforskar projektet potentialen av att använda artificiell intelligens som ett verktyg för att effektivisera planeringsprocessen.

Drivkraften bakom detta projekt har varit att underlätta kommunikationen och förebygga missförstånd mellan verksamhetsrepresentanter och arkitekterna under planeringsprocessen. Detta beror på att arkitekter kan ha svårt att helt förstå verksamhetens behov och framtida arbetsflöden eftersom de vanligtvis utgår från riktlinjerna och generella rekommendationer när de planerar olika utrymmen. Dessa anvisningar kan i sin tur upplevas vagt formulerade och öppna för fri tolkning (Sateei, Roupé, & Johansson, 2019). Å andra sidan kan verksamheten ha svårt att förstå arkitekternas underlag, som ibland består av svårtolkade symboler och ritningar som inte ger en verklig känsla för utrymmenas utformning (Sateei, Roupé, & Johansson, 2019). Det är därför av stor vikt att båda parter finner ett sätt att förstå varandra, eftersom möjligheten att påverka utformningen minskar ju längre in i projektet man är och förändringar i senare skeden kan leda till onödiga kostnader.

För att underlätta samarbetet och förhindra missförståndet mellan olika parter har projektet studerat olika digitala verktyg. Bland annat har stora satsningar gjorts i virtual reality där möblering av specifika utrymmen spelat en stor roll vid presentationer av projekten. Den virtuella miljön ger verksamheten en detaljerad och verklighetstrogen känsla över de framtida arbetsflöden för de planerade utrymmen. Verksamheten kan direkt ge arkitekterna en återkoppling, vilket annars skulle ta mycket längre tid (Sateei, Roupé, & Johansson, 2019). Forskningsprojektet ser också den digitaliserade arbetssättet som en möjlighet att främja samarbetet mellan olika projekt och förhindra återkommande fel i framtida projekt.

Användning av stora språkmodeller i kombination med VR

I detta forskningsprojekt har både sjukhus- och skolmiljöer varit föremål för undersökningen, där fokus har legat på de utmaningar som uppstår vid tolkningen av krav och föreskrifter. För att underlätta samgranskningsmöten mellan verksamhetsrepresentanter och arkitekter har mjukvaran BIMXplorer, utvecklad på avdelningen Construction Management på Chalmers, använts för detta ändamål. Den

senaste versionen av programmet möjliggör att projektet öppnas direkt från en IFC-fil där flera användare kan samverka i realtid (Sateei, Roupé, & Johansson, 2019). Programmet tillåter även direkt placering av utrymmesspecifik utrustning, vilket kan förberedas och skapas innan mötena. Användarna får möjlighet att få uppleva miljön i de planerade utrymmen och direkt ta bilder från den VR-sessionen, vilka kan sparas ner och användas som ett underlag för senare diskussioner.

När det kommer till användningen av artificiell intelligens i detta projekt har två typer av språkmodeller implementerats: Large Language Model (LLM) och Multimodal Large Language Model (MLLM). Båda modellerna används bland annat av ChatGPT, men den sistnämnda kräver tillgång till den betalda versionen. LLM är främst inriktad på textbaserat data, vilket användbart vid analys av kravdokument och föreskrifter och kan därmed besvara vissa allmänna frågor. MLLM har däremot förmågan att både analysera bilder och text, vilket resulterar i genererade svar och förslag mer anpassande för varje specifikt projekt. Genom att implementera båda modellerna vid byggnadsutformningen kan förståelsen mellan olika parter förbättras, vilket leder till en mer effektiv och genomtänkt projekteringsprocess.

För att illustrera användningen av språkmodellerna har detta forskningsprojekt undersökt utformningen av en NO-sal i en skola. Den data som matades in i ChatGPT bestod av krav och föreskrifter för utrymmesutformning för skolmiljöer, skärmdumpar från VR-sessioner och planritningar (Sateei, Roupé, & Johansson, 2019). Träningsdata kompletterades ytterligare med projektets tillgängliga inventarielista för att specificera utrymmets behov och karaktärer. Denna data utvärderades senare av språkmodellerna, vilka genererade svar om huruvida rummet uppfyllde kraven och föreskrifterna. Det uppnådda resultatet användes sedan som ett underlag för vidare diskussioner mellan parterna.

Utmaningar och möjligheter till bättre beslutsfattande

Trots de lovande resultaten och den stora potentialen med AI:s språkmodeller, har projektet belyst vissa utmaningar när det kommer till utvärdering av data. Framför allt handlar det om formuleringar av krav och riktlinjer, som ibland kan avsiktligt vara vagt formulerade för att ge utrymme för tolkning för varje specifikt projekt. Detta kan innebära att AI kan ha svårigheter att tolka sådan typ av information och endast kan arbeta med logiska och geometriska formulerade resonemang (Sateei, Roupé, & Johansson, 2019). I de fall då det saknades tydliga kravformuleringar för de specifika utrymmena blev de AI genererade svaren mindre precisa.

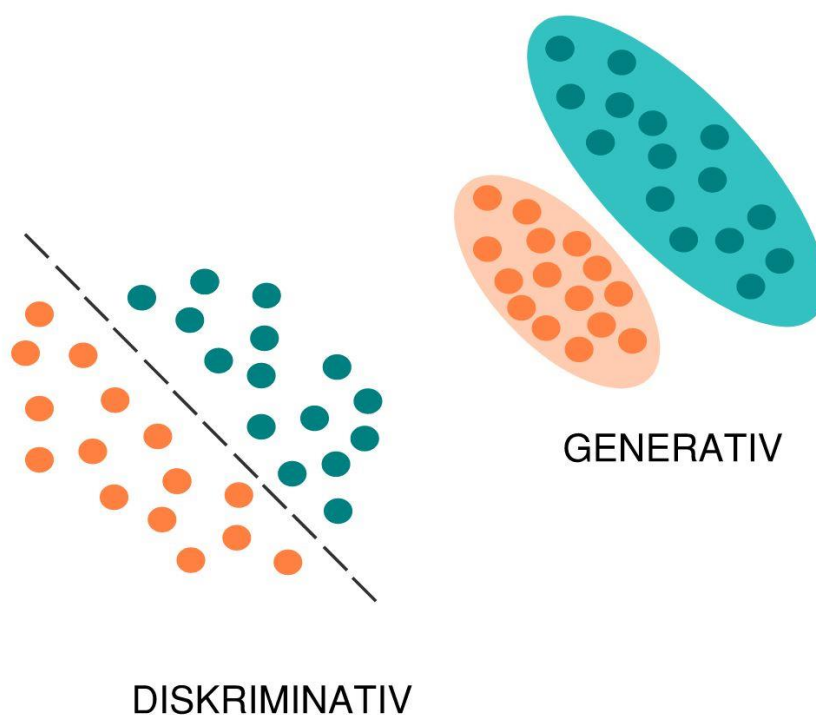
5.2 BIP-koder

Ett av de få projekten som har börjat utforska tillämpningen av AI inom VVS-sektorn är ett samarbetsprojekt mellan BIP-koder och SBUF. Projektet fokuserar på att undersöka tillämpningen av AI i tidiga skeden av projektering av kall- och varmvatten samt ventilation. Som det beskrivs i SBUF:s projektrapport är målet att kunna erbjuda projektörer, fastighetsägare och andra intressenter förslag på lämpliga flöden och placering av installationstekniska lösningar för olika rumstyper (SBUF, 2022). Programvaran som används i projektet har utvecklats av Per Ström, systemutvecklare på Avantec. Genom samarbetet med olika företag och deras tidigare projekt har en del träningsdata kunnat samlats. Dessa data ligger till grund för maskininlärningsalgoritmer som används i applikationen, vilket gör att programmet kan lära sig att identifiera och rekommendera preliminära slutvärden baserat på rummens storlek och funktion.

Algoritmer bakom BIP-koder

När det kommer till beräkning av flöden har BIP-koder använt sig av maskininlärning, närmare bestämt den diskriminativa typen som är en del av den övervakade inlärningsmetoden. Till skillnad från de generativa modeller som går djupare in i den givna data och lär sig att förstå den för att sedan skapa en ny information, fokuserar de diskriminativa modellerna på att kategorisera den inkommande informationen i olika grupper baserat på deras egenskaper och sannolikhetsklassningar, se Figur 5 (Turing, 2024).

På Turings hemsida presenteras ett tydligt och pedagogiskt exempel för att förklara skillnaden mellan de två modellerna (Turing, 2024). De tar upp ett scenario med två tvillingbröder, där den ena kan lära sig allt inom ett ämne och förstår detaljerna på djupet (Generativ), medan den andra fokuserar på allmän förståelse om ämnet och sedan lär sig skillnaderna och mönstren mellan olika delämnena (Diskriminativ). Detta är ett praktiskt exempel på hur de generativa och diskriminativa modellerna skiljer sig åt.



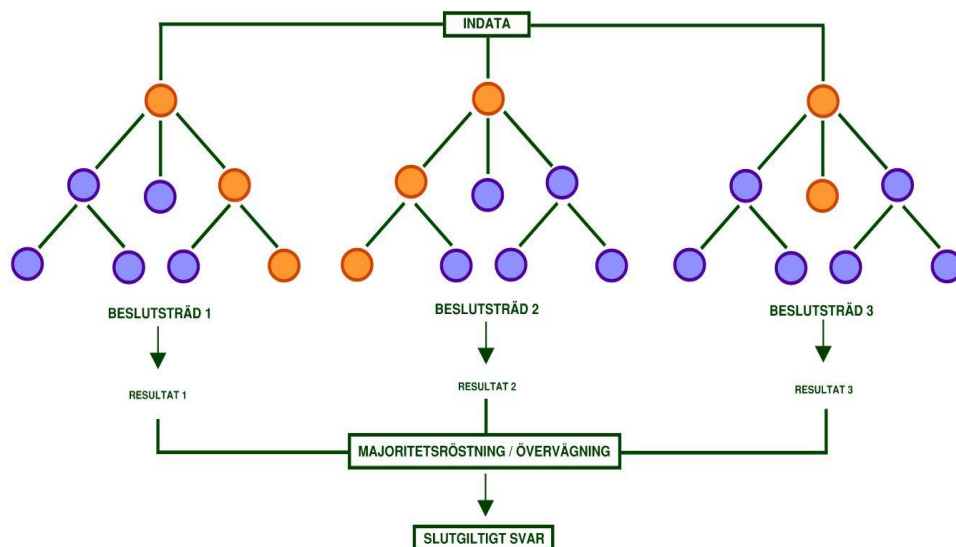
Figur 5: Illustration av modellerna, inspiration till bilden tagen från (Turing, 2024)

De diskriminativa modellerna kan vidare delas in i flera underkategorier, men bygger på samma grundprincip. I detta projekt har BIP-koder tillämpat en algoritmisk struktur som härstammar från två metoder: Decision tree och Random forest. Båda metoderna presenterar en struktur för att sortera och kategorisera inkommande data.

Decision tree är en metod där data successivt delas upp i mindre delar tills de når helt självständiga delar och inte kan delas upp i färre kategorier (Nelson, 2021). Man kan föreställa det som en pyramid där datas egenskaper passerar genom olika nivåer och slutligen, baserat på olika kriterier, leder till passande klassificeringar. Denna metod kan vara mycket användbart när tiden är begränsad och man vill göra klassificering snabbt.

Däremot presterar den väldigt dåligt när det inte finns tillräckligt med träningsexempel från början (Nelson, 2020).

Random forest metoden baseras på ensembleinlärning och har en liknande struktur som ett Decision tree. Skillnaden är att i Random forest används flera träd där deras beräkningsscenario och klassificeringar baseras på slumpmässigt utvalda data från träningsmodellen, vilket leder till olika utfall, se Figur 6. Det slutgiltiga resultatet baseras därefter på sammanvägning av olika beslut och ger det genomsnittliga slutsvaret.



Figur 6 : Illustration av konceptet Random forest, inspiration till bilden tagen från (Gunay, 2023)

När det gäller själva rördragningen använder BIP-koder en algoritm känd som *Ant colony optimization algorithms*. Denna teknik blev introducerad på 1990-talet och härstammar från observationer av myrornas beteende i naturen. Man har studerat hur myrorna rör sig utanför myrstacken när de letar efter mat. När myrorna rör sig mellan hemmet och maten, lämnar de spår av sina feromoner längst hela sträckan, vilket gör att deras kamrater kan använda samma väg genom att följa deras spår (Blum, 2005). Med tiden avtar doften av feromoner, vilket tvingar myrorna att hitta så korta transportsträckor som möjligt i syfte att bibehålla doften och därmed fortsatt effektivitet i arbetet. Deras rörelsemönster har blivit inspiration för olika algoritmer såsom shortest path problems som specialiserar sig på kartläggning och grafisk presentation av sträckor mellan olika punkter (Ghoseiri & Nadjari, 2010). Enligt texten skriven av Ghoseiri och Nadjari, har denna typ av algoritmer blivit alltmer användbara inom olika arbetsområden såsom trafikplanering, produktionseffektivitet och telekommunikation.

Utmaningar och begränsningar med BIP-koders applikation

De utmaning och begränsningar som applikationen har idag handlar mycket om den begränsade mängden träningsdata som ligger till grund för maskininlärningen. I SBUF:s slutrapport nämns att utvecklingsfokuset har legat på byggnader med kontor samt sjukhus, och kan där med resultera i missvisande värden för till exempel bostäder (SBUF, 2022)

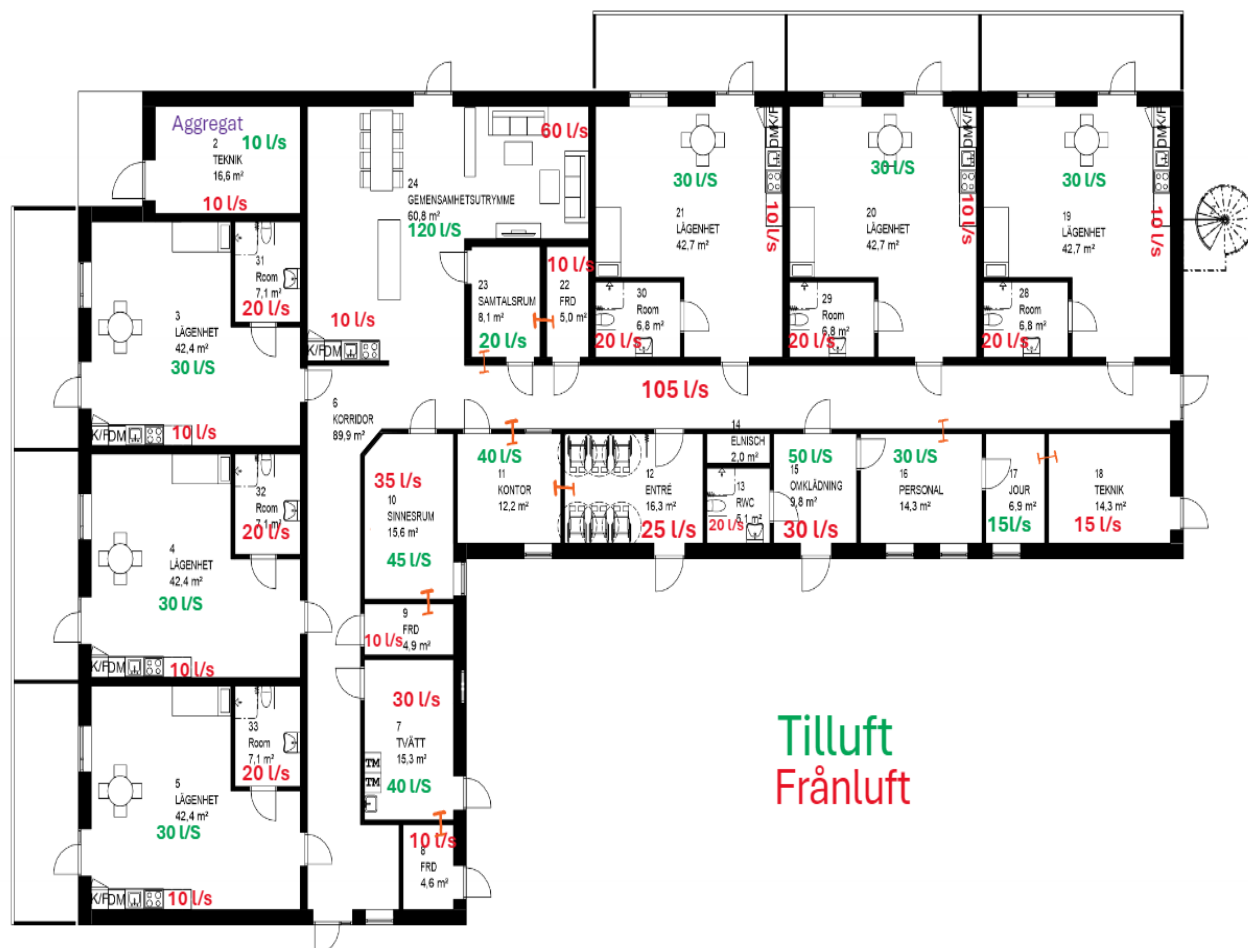
Även utformningen av utrymmen kan påverka resultatet, då BIP AI endast kan användas för rektangulära former.

6 Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten från samtliga utförda försök baserade på tillvägagångssättet beskrivna i metodkapitlet (se kapitel 1.3) med syfte att besvara projektets definierade frågeställningar. Resultatet nedan delas in i tre delar: den första delen omfattar prediktionen av mängden tilluftsflöde från BIP-koder och visar den manuellt projekterade kanaliseringen, den andra delen omfattar systemanalys med hjälp av ChatGPT och den tredje delen presenterar de sammanställda svaren från enkäten.

6.1 Jämförelse av tilluftsflöde mellan den handberäknade och BIP-AI genererade metoden

Resultatet från beräkningen och fördelning av till- och frånluftsflödets visas i Figur 7. De presenterade värdena baserades på minimikraven från svensk byggtjänst och Boverkets krav för hela byggnaden, angiven i liter per sekund. I Tabell 1 visas tydligt hur värdena har beräknats med hänsyn till fördelning av antalet personer samt area för respektive rum.

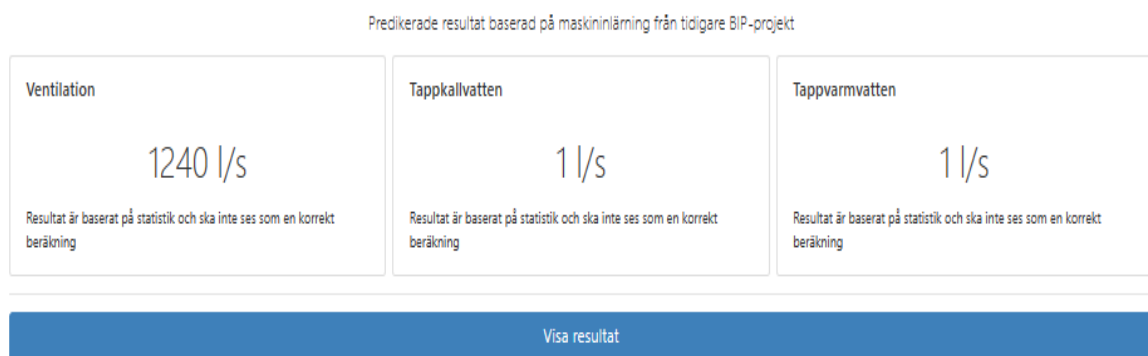


Figur 7: En planlösning med placering av överlufdon, samt uppskattat värde på till- och frånluftsflöden

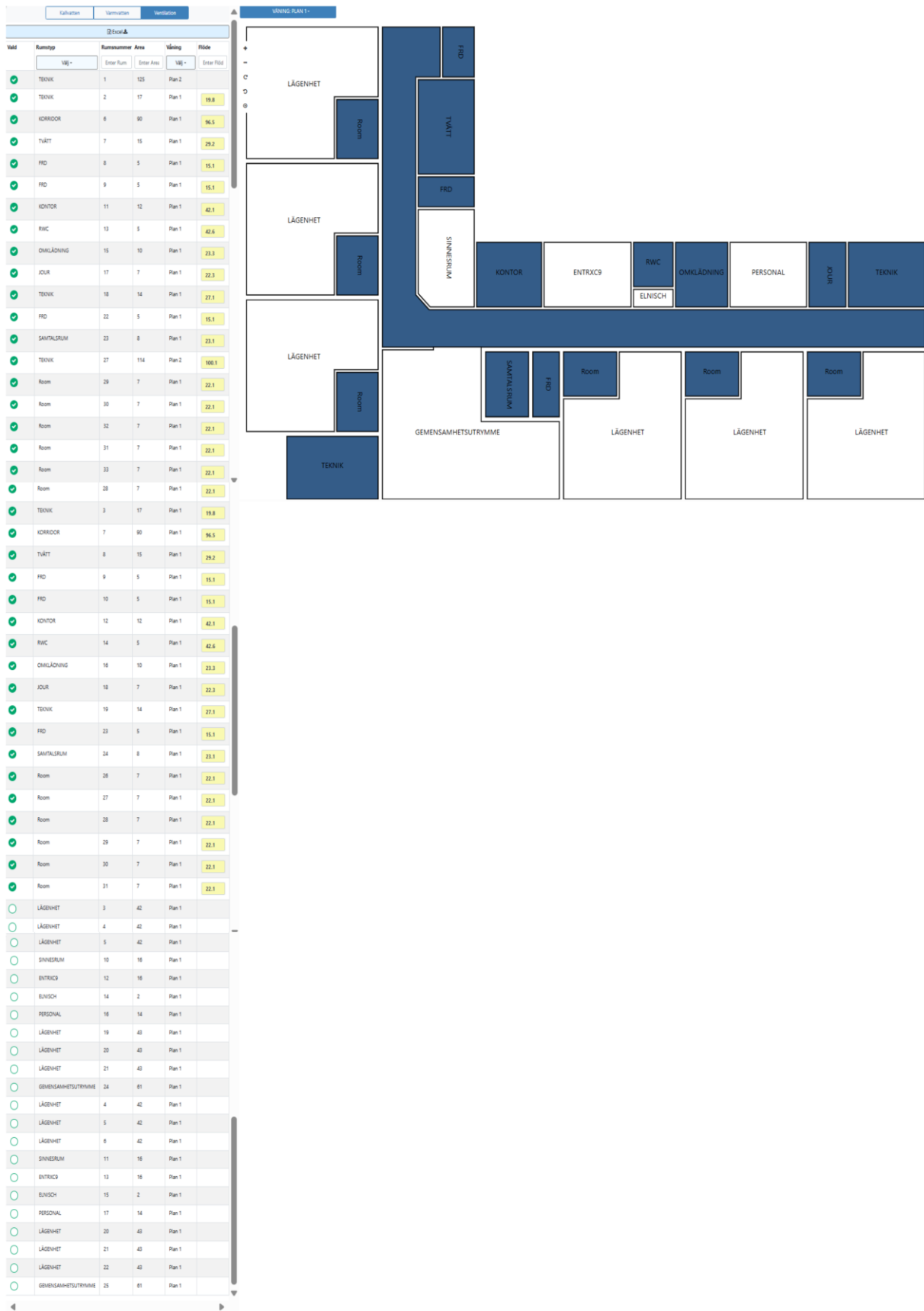
Tabell 1: Uppskattade flöde baserat på minimikraven från svensk byggtjänst och Boverket

Rumsnummer	Rumsbeteckning	Rumsbeteckning AI	Area [m ²]	Antal personer	Minsta tilluftsflöde [l/s m ²]	Tilluftsflöde avrundat till närmast 5	Minsta frånluftsflöde [l/s m ²]	Frånluftsflöde avrundat till närmast 5
2	Teknik	Teknik	16,6	0	10	10	10	10
3	Lägenhets	Room	42,2	1	21,8	30	10	10
4	Lägenhets	Room	42,2	1	21,8	30	10	10
5	Lägenhets	Room	42,2	1	21,8	30	10	10
6	Korridor	Korr	89,9	0	-	-	105	105
7	Tvättutrymme	Tvättstört	15,3	0	40,0	40	30	30
8	FRD	Förråd	4,6	0	-	-	1,61	10
9	FRD	Förråd	4,9	0	-	-	1,715	10
10	Sinnesrum	lekum	15,6	4	41,5	45	20	35
11	Kontor	Kontor	12,2	3	31,3	40	-	-
12	Entré	Entré	16,3	0	-	-	25	25
13	WC	RWC/D	5,1	0	-	-	15,1	20
14	Elnisch	Elnisch	2	0	-	-	-	-
15	Omklädnings	Omklädnings	9,8	0	49,0	50	30	30
16	Personal	Paus	14,3	2	23,0	30	-	-
17	Jour	Jour	6,9	1	11,4	15	-	-
18	Teknik	Teknik	14,3	0	-	-	10	15
19	Lägenhets	Room	42,7	1	21,9	30	10	10
20	Lägenhets	Room	42,7	1	21,9	30	10	10
21	Lägenhets	Room	42,7	1	21,9	30	10	10
22	FRD	Förråd	5	0	-	-	1,75	10
23	Samtalsrum	Samtalsrum	8,1	2	16,8	20	-	-
24	GEMENSAMHETSUTRYMME	Samvaro	60,8	10	111,3	120	70	70
28	WC	RWC/D	6,8	0	-	-	16,8	20
29	WC	RWC/D	6,8	0	-	-	16,8	20
30	WC	RWC/D	6,8	0	-	-	16,8	20
31	Wc	RWC/D	7,1	0	-	-	17,1	20
32	Wc	RWC/D	7,1	0	-	-	17,1	20
33	Wc	RWC/D	7,1	0	-	-	17,1	20
						SUMMA FRÄNLUFT	550	550
						SUMMA TILLUFT	550	550
						Mellanstillnad	0	0

För att uppskatta resultatet av de beräknade tilluftsflöden med hjälp av BIP-koder har olika tester genomförts. Testerna omfattade olika kombinationer av rumsbeteckningar; där det ena testet hade beteckningar som tilldelades av konsulterna, det vill säga vanligt förekommande beteckningar (se Figur 9 och Figur 11). Medan i det andra testet, som kallades slutversionen, anpassades rumsbeteckningar efter den existerade träningsdatan (se Figur 13 och Figur 15). Dessutom utfördes ett test med kombination av både Area- och Spacebeteckningar som definierades i IFC-filen, vilket resulterade i dubbla flöden (se Figur 8 och Figur 9) till skillnad från när filen hade endast Space eller Area definierat. I slutversionen definierades endast en parameter och visade att resultatet blev detsamma oavsett om det var Area eller Space som blev definierade i IFC-filen, (se Figur 12 och Figur 14). Figurerna nedan visar att de vit markerade utrymmen inte har blivit igenkända av AI och därför inte tilldelas något tilluftsflöde, till skillnad från de blå markerade utrymmen som har tilldelats tilluftsflöde.



Figur 8: Prediktion av tilluftsflöde för försök 1, vanligt förekommande beteckningar med Area och Space definierat

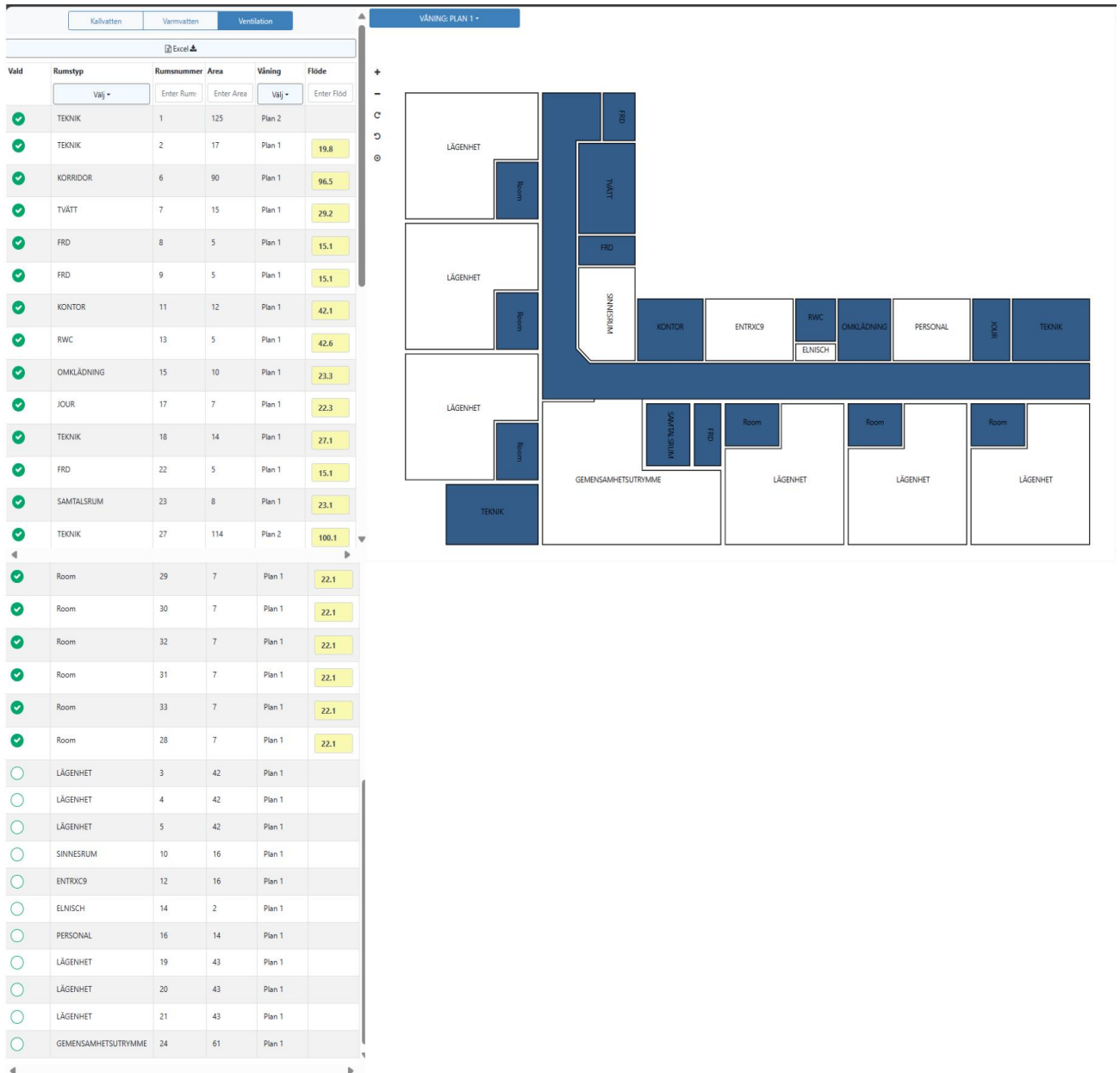


Figur 9: Resultat på tilluftsflöde för försök 1 från BIP-koder för respektive rum med Space och Area definierat (dubbla flöde med vanligt förkommande beteckningar), se bilagor 3 till 6

Predikerade resultat baserat på maskininläring från tidigare BIP-projekt

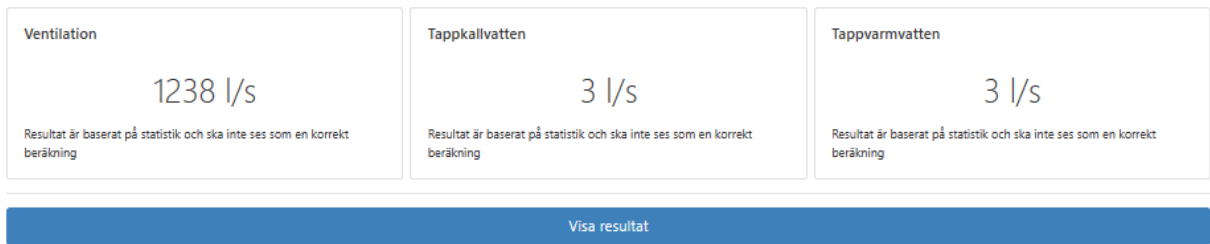


Figur 10: Prediktion av tilluftsflöde för försök 2, vanligt förekommande beteckningar med endast Space definierat

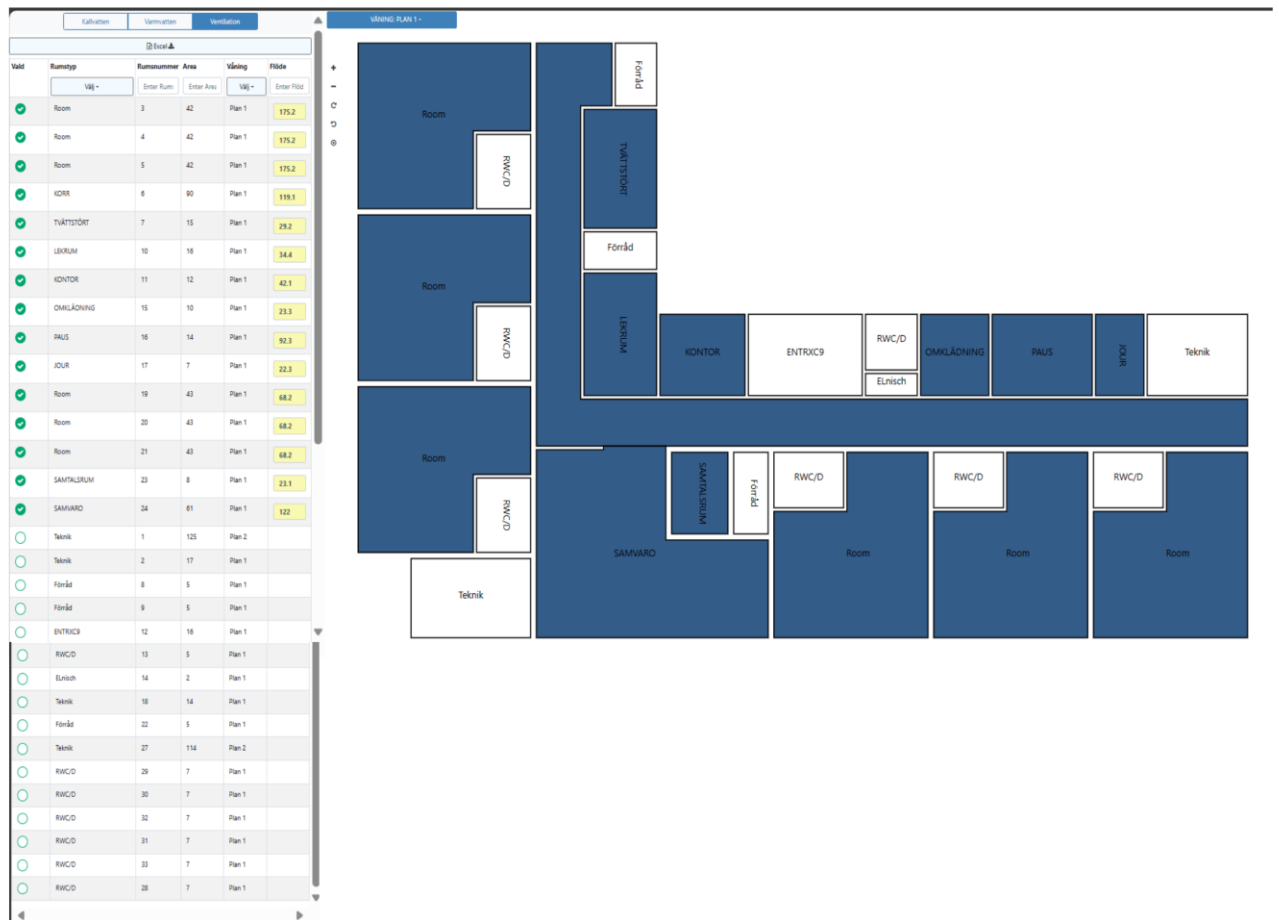


Figur 11: Resultat på tilluftsflöde för försök 2 från BIP-koder för respektive rum med space definiera med vanligt förekommande beteckningar, se bilaga 7 och 8

Predikerade resultat baserad på maskininläring från tidigare BIP-projekt



Figur 12: Prediktion av tilluftsflöde för försök 3, slutversionen med endast Area definierade



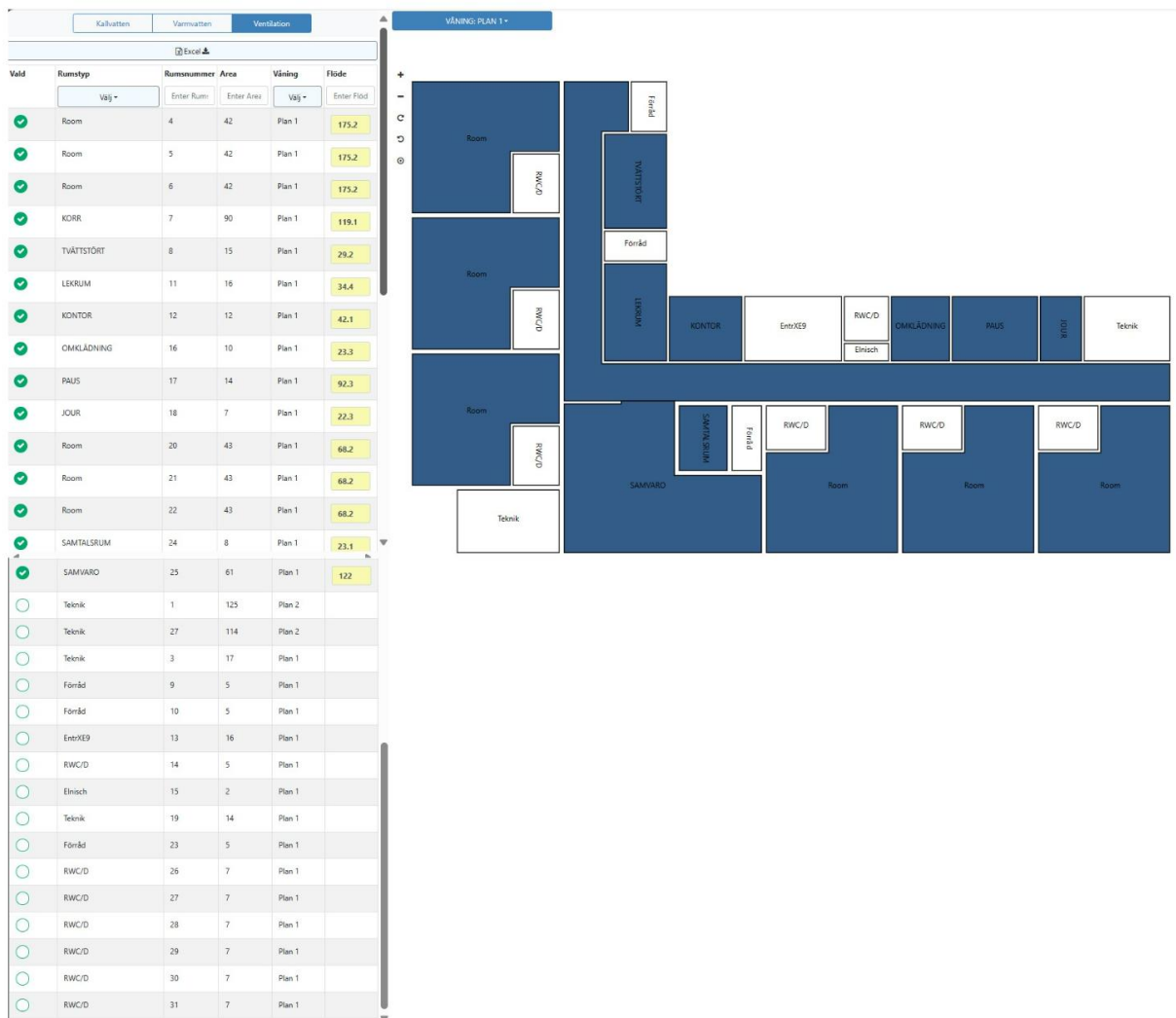
Figur 13: Resultat på tilluftsflöde för den slutversionen, försök 3 från BIP-koder för respektive rum med Area definierat

Predikerade resultat baserad på maskininläring från tidigare BIP-projekt

Ventilation <h1>1238 l/s</h1> Resultat är baserat på statistik och ska inte ses som en korrekt beräkning	Tappkallvatten <h1>3 l/s</h1> Resultat är baserat på statistik och ska inte ses som en korrekt beräkning	Tappvarmvatten <h1>3 l/s</h1> Resultat är baserat på statistik och ska inte ses som en korrekt beräkning
---	---	---

Visa resultat

Figur 14: Prediktion av tilluftsflöde för den slutversionen, försök 4 med endast Space definierat.

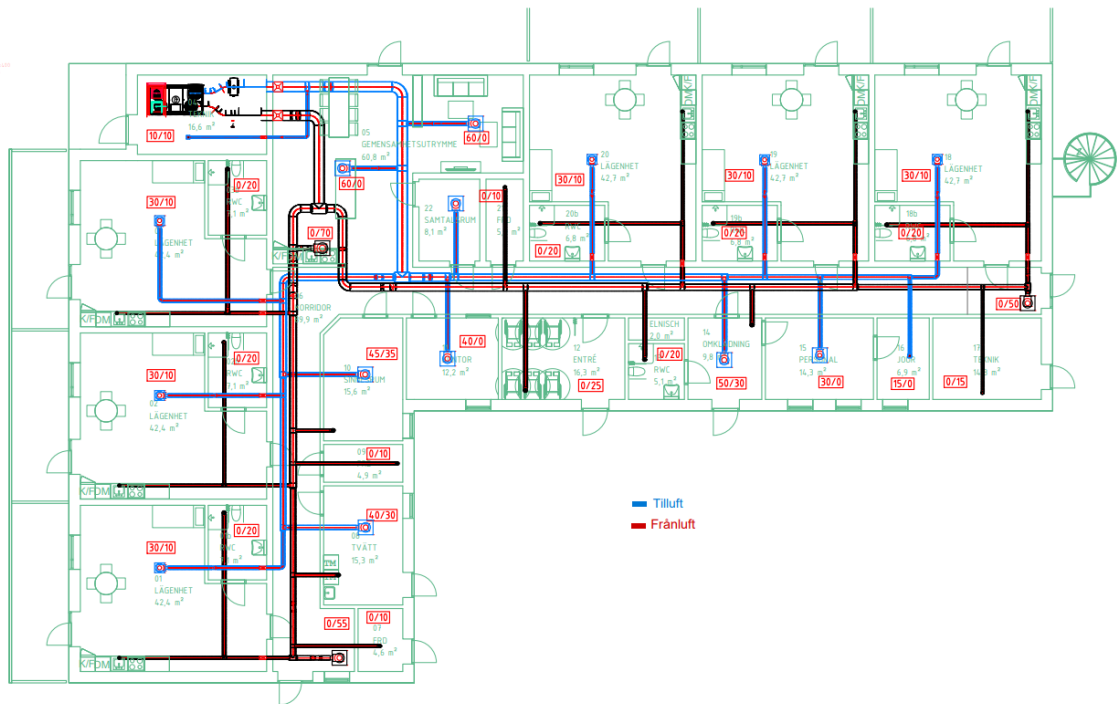


Figur 15: Resultat på tilluftsflöde för den slutversionen, försök 4 från BIP-koder för respektive rum med Space definierat.

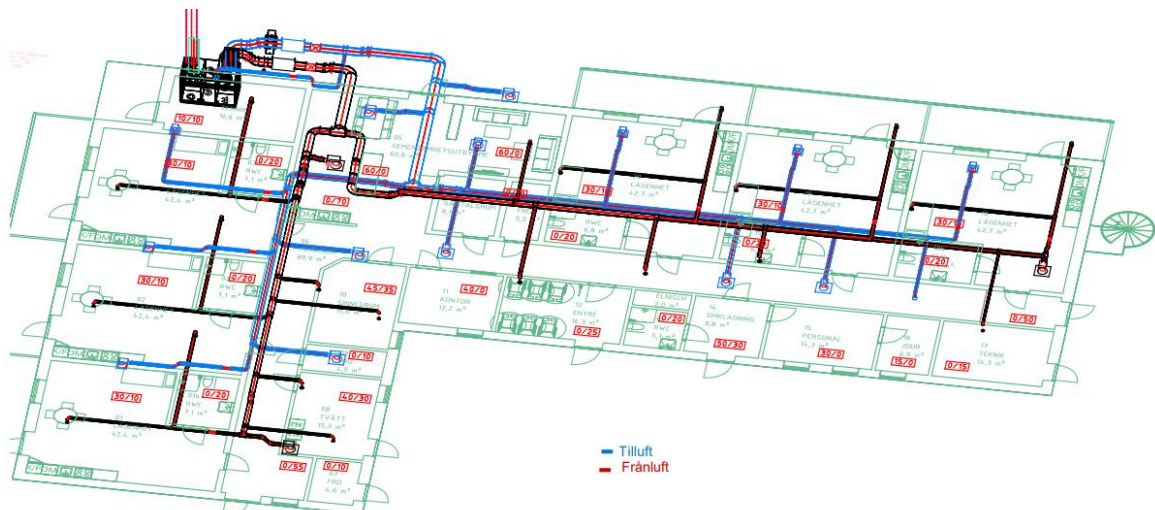
Som det nämndes i metodbeskrivningen (se kapitel 1.3) var planen att jämföra en systemkanalisering som var designat med den traditionella metoden gentemot en som genererades med hjälp av en AI-algoritm. Dessvärre kunde jämförelsen inte fullföljas då delen för systemkanalisering, som skulle utföras med hjälp av AI, inte kunde verkställas av BIP-koders algoritmer. Denna funktion var inte färdigutvecklad för allmän användning

och var tänkt att genomföras av systemutvecklaren men på grund den uppstådda problematiken med koder och algoritmer kunde jämförelsen inte fullföljas i praktiken.

Den traditionellt utformade designen för kanaliseringen av till- och frånluft som var tänkt att jämföras med AI visas i figurerna nedan. Dessutom visar bilderna nedan flödesfördelning för respektive rum angiven med röd text, där det första talet visar den beräknade tilluften medan det andra talet står för frånluften. Figur 17 visar kanaliseringen i 3D och presenterar hur böj och krök skulle se ut efter färdig projektering.

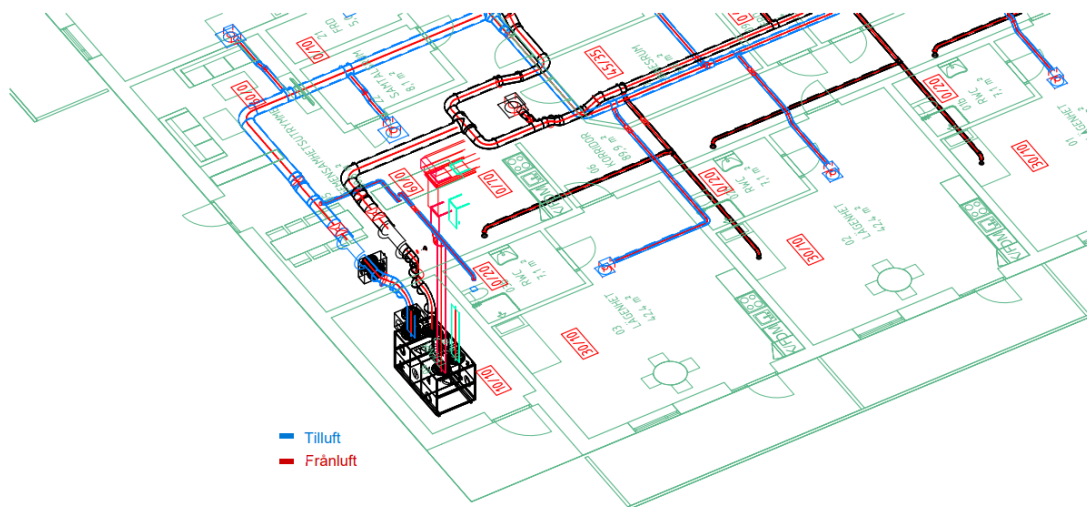


Figur 16: Ritning som illustrerar kanaler för till- och frånluft samt flödesfördelning för respektive rum



Figur 17: Ritning som illustrerar 3D kanaler för till- och frånluft samt flödesfördelning för respektive rum

I Figur 18 nedan visas kanalerna för ett gemensamt utrymme och en lägenhet, där utrymmen blev granskade med hjälp av ChatGPT-språkmodell i syftet för att beräkna flöden, mer om det i nästkommande kapitel 7.



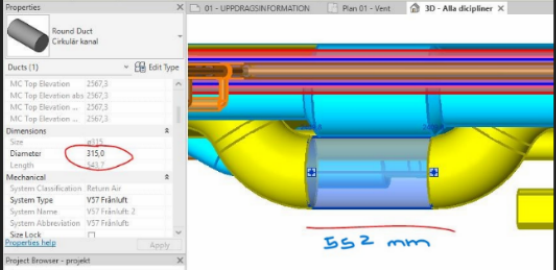
Figur 18: Ritning som illustrerar 3D kanaler för till- och frånluft samt flödesfördelning för respektive rum med fokus på gymmensammautrymme och en lägenhet

6.2 Presentation av ChatGPT:s tolkning av föreskrifter

Flera tester genomfördes för att ta reda på om AI eventuellt kunde gynna VVS-sektorn och om användningen kunde leda till relevanta svar gällande färdigt projekterade system. Analysen utfördes på två utrymmen i byggnaden, ett gemensamt utrymme och en lägenhet. Analysen utfördes i syfte att kunna jämföra svaren från ChatGPT för olika delar av systemet som eventuellt uppfyllde kraven eller inte.

I Figur 19 och Figur 20 nedan presenteras två tester där olika delar av ventilationskanaler matades in i ChatGPT för att sedan se om språkmodellen kunde tolka avståndet mellan två böjar. Syftet var att se hur AI, baserat på föreskrifterna, kunde tolka om systemet uppfyllde kraven eller inte. Ett godkänt avstånd förhindrar virvel i kanalerna, minskar risken för buller och energieffektiviserar systemet.

You



Avståndet mellan böjningar är 552 mm och kanaldiameter är 315 mm. Klarar detta avståndet kravet från föreskrifterna?

ChatGPT

Om vi använder de föreskrifterna som du gav från dokumentet och tillämpar dem på bilden, här är analysen:

Föreskrifterna anger att minsta avstånd mellan böj och avgrening eller mellan två avgreningar ska motsvara 6 kanaldiametrar för att luften inte ska virvla när den kommer in i nästa del av systemet.

Med en kanaldiameter på 315 mm ska detta avstånd vara $315 \text{ mm} \times 6 = 1890 \text{ mm}$.


Det avstånd som anges mellan böjningarna på bilden är 552 mm. Detta är betydligt mindre än de rekommenderade 1890 mm, och således uppfylls inte kravet på avståndet enligt de föreskrifter som listas i dokumentet.

Detta kan leda till ineffektivitet i luftflödet på grund av ökat strömningsmotstånd och turbulens, vilket i sin tur kan öka energiförbrukningen för fläktsystemet och potentiellt leda till högre ljudnivåer och störningar i luftflödet. Det skulle vara lämpligt att överväga en omkonstruktion av rördragningen för att följa dessa specifikationer för optimal systemprestanda.

🔊 📄 ↻ 🗨

Figur 19: ChatGPT svar på frågan om avstånd mellan två böjar i gemensamma utrymme och ifall det stämmer överens med föreskrifter och rekommendationer för att undvika virvelbildning

You



Avståndet mellan böjningar är 1565 mm och kanaldiameter är 80 mm. Klarar detta avståndet kravet från föreskrifterna baserat på bilden ovan?

ChatGPT

För att se om avståndet mellan böjningarna i luftkanalen uppfyller kraven från de tidigare nämnda föreskrifterna, behöver vi referera till den del av dokumentet som diskuterar avståndet efter en störning för att luften ska sluta virvla och den normala hastighetsprofilen ska återtas. Enligt de detaljer som tillhandahölls, krävs det ett avstånd som motsvarar ungefär 6 kanaldiametrar efter en störning.

Om kanaldiametern är 80 mm, skulle sex gånger diametern vara:

$$6 \text{ kanaldiametrar} = 6 \times 80 \text{ mm} = 480 \text{ mm}$$

Baserat på den informationen och mätningen från bilden (1565 mm mellan böjningarna), kan vi göra en enkel beräkning för att avgöra om detta avstånd uppfyller kravet. Avståndet som krävs för att luftflödet ska stabiliseras efter en störning är 480 mm (6 kanaldiametrar). Eftersom avståndet mellan böjningarna på bilden är 1565 mm, uppfyller detta avstånd mer än kravet på 480 mm. Så ja, det angivna avståndet mellan böjningarna på bilden klarar avståndskravet enligt föreskrifterna. [-]

🔊 📄 ↻ 🗨

Figur 20: ChatGPT svar på frågan om avstånd mellan två böjar i en lägenhet och om det stämmer överens med föreskrifter och rekommendationer för att undvika virveluppbildning

Därefter ställdes frågan om ChatGPT kunde identifiera problemområden i olika delar i kanalsystemet baserat på bilderna tagna från olika vinklar av rummet (se Figur 21 till Figur 24). Dessutom ställdes frågan om potentiella problemområden i kanaldesignen för gemensamma utrymme där det märktes att ChatGPT hade svårigheter att se skillnaden mellan till- och frånluft, vilket ledde till felaktiga svar. Frågorna som ställdes under båda försöken hade samma formulering men skillnaden var att ena testet hade markeringar på till- och frånluftskanaler medan andra inte hade det, se Figur 21 och Figur 22.

VE You



Kan du definiera eventuella problemområden baserat på bilderna ovan?

ChatGPT

Baserat på bilderna du har delat, här är en analys av potentiella problemområden i det gemensamma utrymmet:

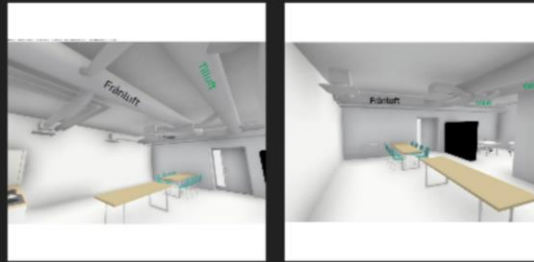
1. **Luftstråles Interaktion:** Baserat på den tredje bilden ser det ut som att det finns två luftstrålar från luftdon som är riktade mot varandra. Detta kan potentiellt skapa en kollision av luftströmmar, vilket skulle kunna leda till oönskad turbulens och dra i området där de möts.
2. **Tilluftsdonens Placering:** I den första bilden verkar ett tilluftsdon vara placerat nära en vägg. Det är viktigt att tilluftsdon inte är placerade för nära väggar, tak eller andra hinder för att optimera spridningsmönstret och undvika Coandaeffekten som kan begränsa luftflödets räckvidd och effektivitet.
3. **Frånluftsdonens Placering:** Frånluftsdonen bör placeras så att de kan effektivt samla upp och transportera bort använd luft. Om de är placerade för nära tilluftsdon eller i områden med lågt luftflöde, kan de vara mindre effektiva.
4. **Luftflödets Fördelning:** Bilderna tyder på att det finns flera luftdon i utrymmet. Det är viktigt att luftflödet från dessa don är balanserat för att säkerställa att hela utrymmet får tillräcklig ventilation och för att förhindra områden med dålig luftkvalitet.
5. **Tillräcklig Räckvidd för Luftdon:** Beroende på utrustningens prestanda och rummets layout, bör donens placering säkerställa att luftflödet når hela rummet. Detta bör kontrolleras med tillverkarens specifikationer för kastlängd och spridningsmönster.

För att säkerställa att installationen uppfyller alla krav och skapar en behaglig miljö, rekommenderas en noggrann genomgång av ventilationsdesignen. Detta bör inkludera en beräkning av luftflöden, beaktande av rummets aktiviteter, och eventuellt användning av simuleringsverktyg som CFD för att analysera luftflödesmönstren i detalj. Utöver bilderna skulle tekniska specifikationer och prestandadata för luftdonen också vara nödvändiga för en fullständig utvärdering.



Figur 21: ChatGPT svar på frågan potentiella problemområde med en sådan systemdesign. Ingen kanalmarkering genomförts och därför blev svaret felaktigt och missvisande.

VE You



Kan du definiera eventuella problemområden baserat på bilderna ovan?

ChatGPT

Utifrån bilderna och den tidigare diskussionen om ventilationssystemet i rummet, här är några potentiella problemområden:

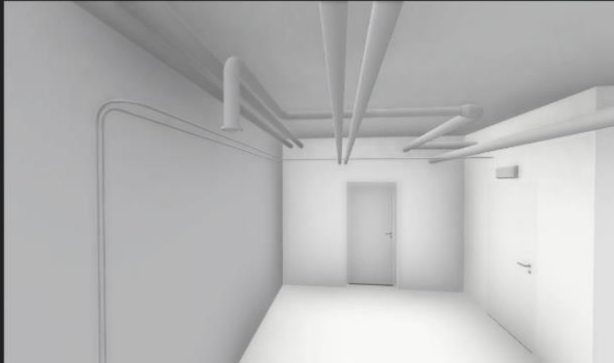
1. **Luftflödesmönster:** Med tanke på placeringen av tilluftsdonen och frånluftsdonen kan det finnas områden där luften inte cirkulerar tillräckligt, vilket kan skapa stagnation eller drag. Det är viktigt att luftflödet är designat för att täcka hela rummet effektivt.
2. **Risk för luftstrålkollision:** Luftstrålar som möts från motsatta tilluftsdon kan kollidera och skapa turbulens, vilket kan leda till obekvämt drag för de som sitter under eller nära kollisionspunkten.
3. **Positionering i förhållande till aktivitetsområden:** Om tilluftsdonen blåser luft direkt på områden där människor vanligtvis sitter eller arbetar, kan det orsaka obehag, särskilt om lufttemperaturen är betydligt lägre eller högre än rumstemperaturen.
4. **Stagnationszoner:** Vissa områden i rummet, speciellt hörnen och längs med vissa väggar, kan ha otillräcklig luftcirkulation. Detta kan leda till att luftkvaliteten blir sämre i dessa områden.
5. **Effektivitet och energiförbrukning:** Om luftflödet inte är optimerat kan detta leda till ökad energiförbrukning då systemet kanske måste arbeta hårdare för att upprätthålla den önskade temperaturen och luftkvaliteten.

För att exakt identifiera och lösa dessa problem, kan en ingående teknisk utvärdering krävas, inklusive detaljerade luftflödesanalyser och möjligtvis justeringar av tilluftsdonens placering och vinkel. Dessutom kan användning av rumspecifik luftkvalitetsövervakning och temperaturreglering bidra till att ytterligare förbättra komforten och effektiviteten i rummet.



Figur 22: ChatGPT svar på frågan potentiella problemområde som kan uppstå i en sådan systemdesign, kanalerna är markerade med etiketter för tilluft och frånluft för att tydliggöra för ChatGPT vad det är för typ av kanaler, och få korrekt svar på den genomförda analysen.

VE You



Kan du definiera eventuella problemområden baserat på bilderna ovan? Ser du möjligen några kollisioner i kanalerna?

ChatGPT

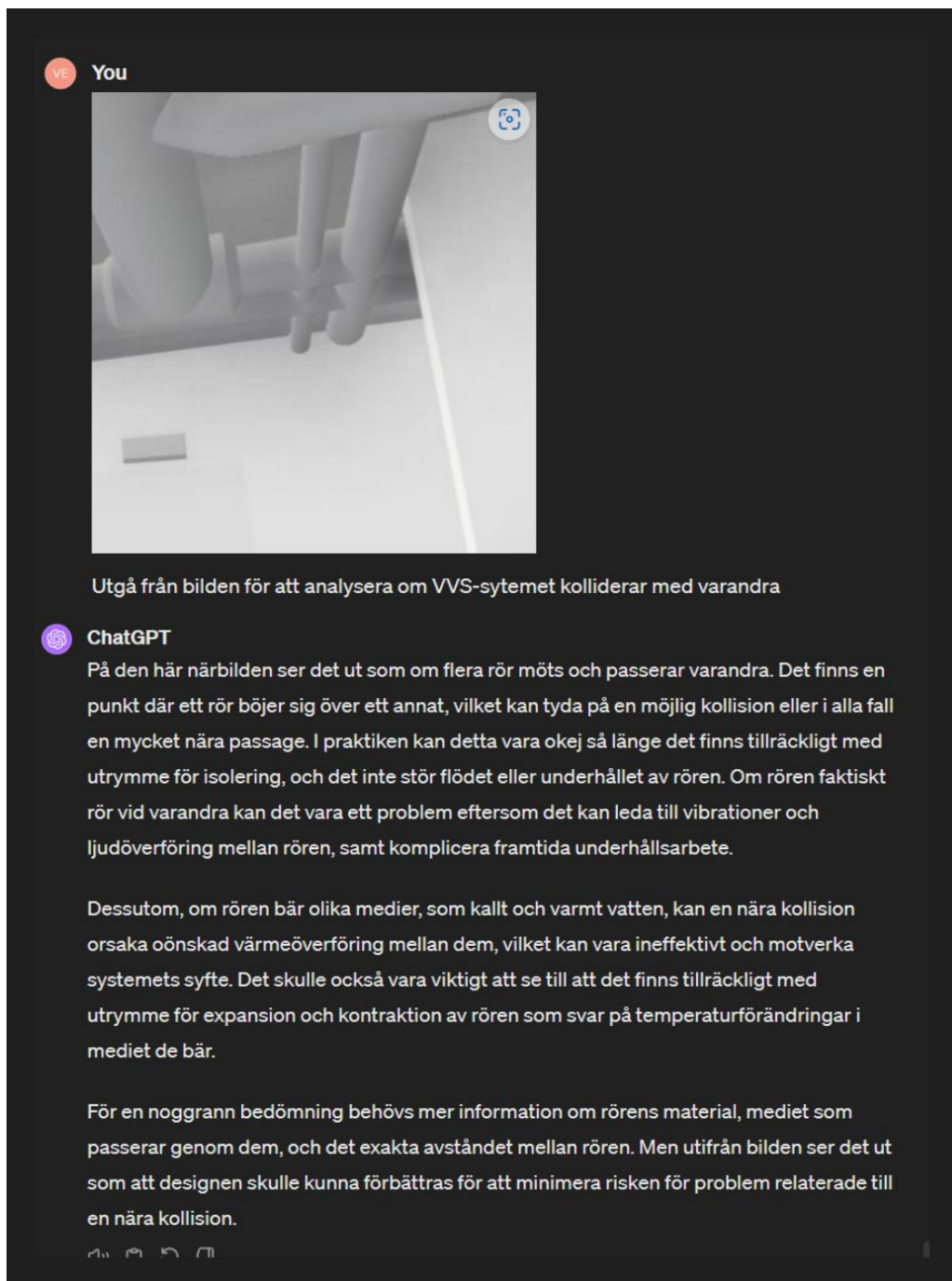
Baserat på de tre bilderna av ventilationssystemet i ett bostadsrum och med hänsyn till de föreskrifter som angetts i dokumentet, kan jag identifiera några potentiella problemområden och överväganden:

1. **Avstånd mellan böjningar:** Från tidigare diskussion och dokumentinformationen, krävs det att avståndet mellan böjningar och avgreningar motsvarar 6 kanaldiametrar för att minska virvlar och tryckfall. Utan exakta mått från bilderna är det svårt att bedöma om detta efterlevs fullt ut, men med informationen från den tidigare bilden, där avståndet var otillräckligt, kan det vara en indikation på att även dessa installationer kan ha liknande problem.
2. **Kanalsystemets Symmetri:** Det verkar som att kanalsystemet i några av bilderna har asymmetriska grenar. Enligt föreskrifterna bör kanalsystemet vara symmetriskt för att förenkla balanseringen av luftflödena. Asymmetrier kan leda till ökad komplexitet i flödesreglering och kan kräva att vissa delar av systemet stryps mer än andra, vilket kan orsaka störande ljud och ökade tryckfall.
3. **Kanalernas Placering och Riktning:** I bostadsrummet verkar luftkanalerna vara placerade och riktade så att de inte direkt blåser ned på områden där människor vistas, vilket är positivt. Detta minskar risken för drag som kan vara obehagligt för de som bor där.
4. **Kollisioner och Hinder:** Det verkar inte vara några uppenbara kollisioner mellan kanalerna i de tillhandahållna bilderna. Kanalerna är ordentligt separerade och det finns inte några indikationer på att luftstrålar skulle krocka, vilket är bra för att undvika störningar i luftflödet.
5. **Kanalisolering:** Utifrån bilderna går det inte att se om kanalerna är isolerade eller inte, vilket är viktigt för att förhindra oönskad värme- eller kylöverföring samt kondensbildning.

För en komplett och noggrann bedömning skulle en detaljerad teknisk analys behöva genomföras som inkluderar mätningar av luftflöden, tryckfall, ljudnivåer, och andra faktorer som inte kan bedömas enbart genom visuell inspektion av bilder. Dessutom kan en CFD-simulering (Computational Fluid Dynamics) ge mer specifik information och verifiera att systemet uppfyller de angivna prestandakraven.



Figur 23: ChatGPT svar på frågan potentiella problemområde med en sådan systemdesign i en lägenhet.



Figur 24: Svaret från ett test som har genomförts för att kontrollera om ChatGPT kan identifiera kollisioner i sin systemanalys.

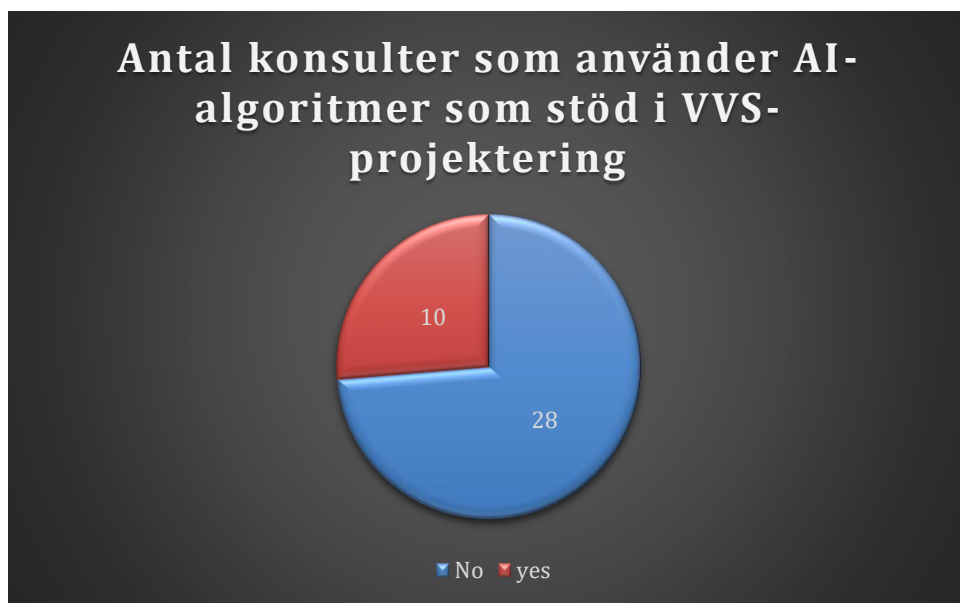
6.3 Konsulternas uppfattning kring AI inom VVS-sektorn

En enkät har genomförts i syftet att ta reda på konsulternas synpunkter om hur AI kan implementeras inom VVS och samtidigt väcka deras intresse och nyfikenhet för den nya trenden. Enkäten var kort och bestod av flervalsfrågor som omfattade AI-tillämpning inom VVS och hur konsulterna ställde sig för den nya trenden. I formuläret fanns endast en öppen fråga som syftade till att få en bättre förståelse för vilka arbetsområden

konsulterna ansåg att AI kunde gynnas främst och vilka potentiella fördelar det kan ha. Dessutom undersöktes om någon hade erfarenhet av att vara inblandad i projekt som har tillämpat AI.

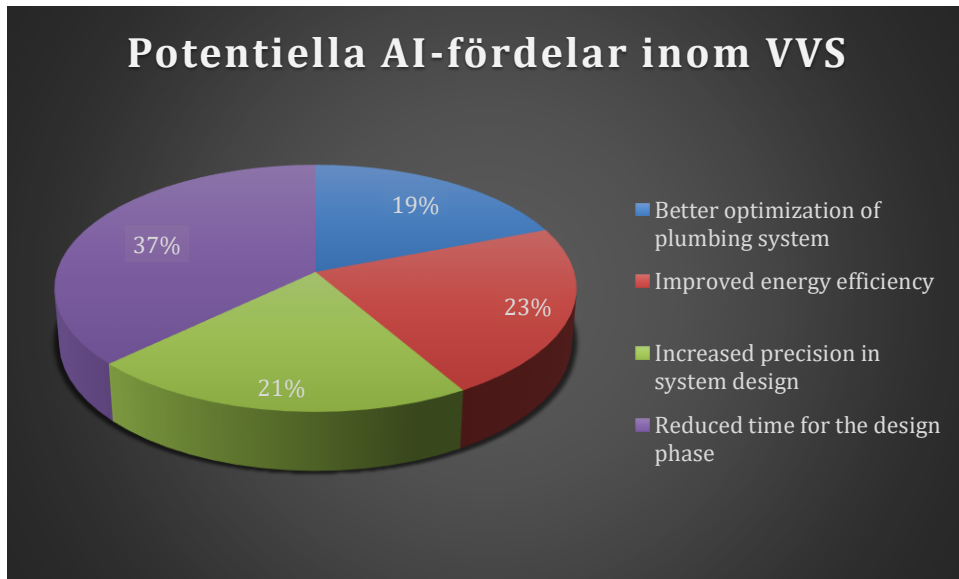
Enkäten genomfördes på engelska för att nå så många konsulter som möjligt, med nyckelord såsom HVAC-system, AI, HVAC-engineering. Svaren från enkäten valdes att illustreras i form av grafer för att underlätta tolkning av resultaten. Graferna nedan omfattar svaren från totalt 38 konsulter som har deltagit i enkäten och svarat på frågorna.

Grafen nedan (se Figur 25) visar att ungefär 26% av VVS-konsulter som har svarat på enkäten har någon gång använt AI- applikationer eller algoritmer i deras projekt. Medan 74% av konsulter fortfarande jobbar på det traditionella sättet.



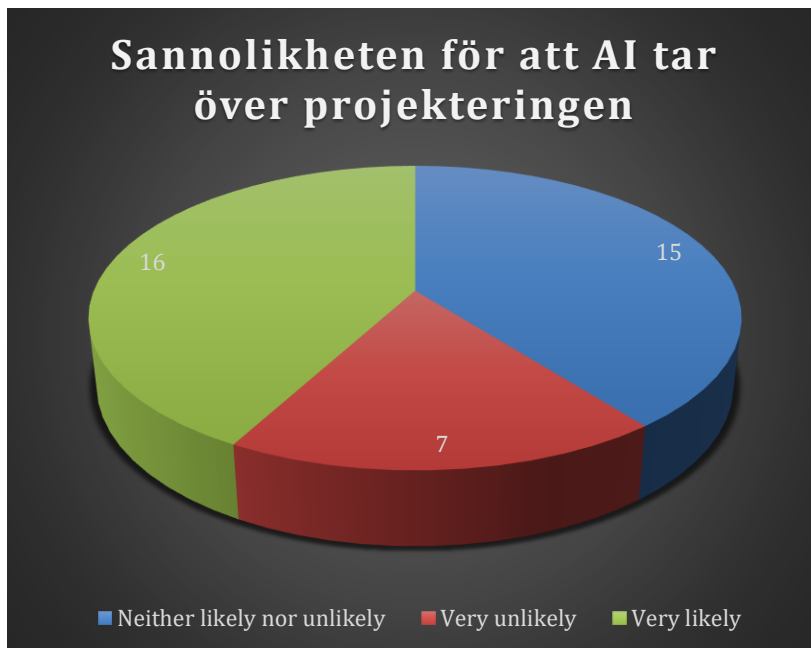
Figur 25: Andel VVS-konsulter som använder AI i deras projekt.

Vidare ställdes en fråga gällande AI:s utnyttjandepotential inom VVS, där uttalanden om potentiella fördelar inspirerades från BIP-koders slutrapport. Svaren var väldigt spridda (se Figur 26) men majoriteten svarade att implementering av AI kan leda till tidsbesparing under planeringsskedet och energieffektivisering av systemen. En mindre andel konsulter ansåg också att AI kan användas för optimering av rör- och kanaldragningar.



Figur 26: Konsulternas syn på potentiella fördelar med AI.

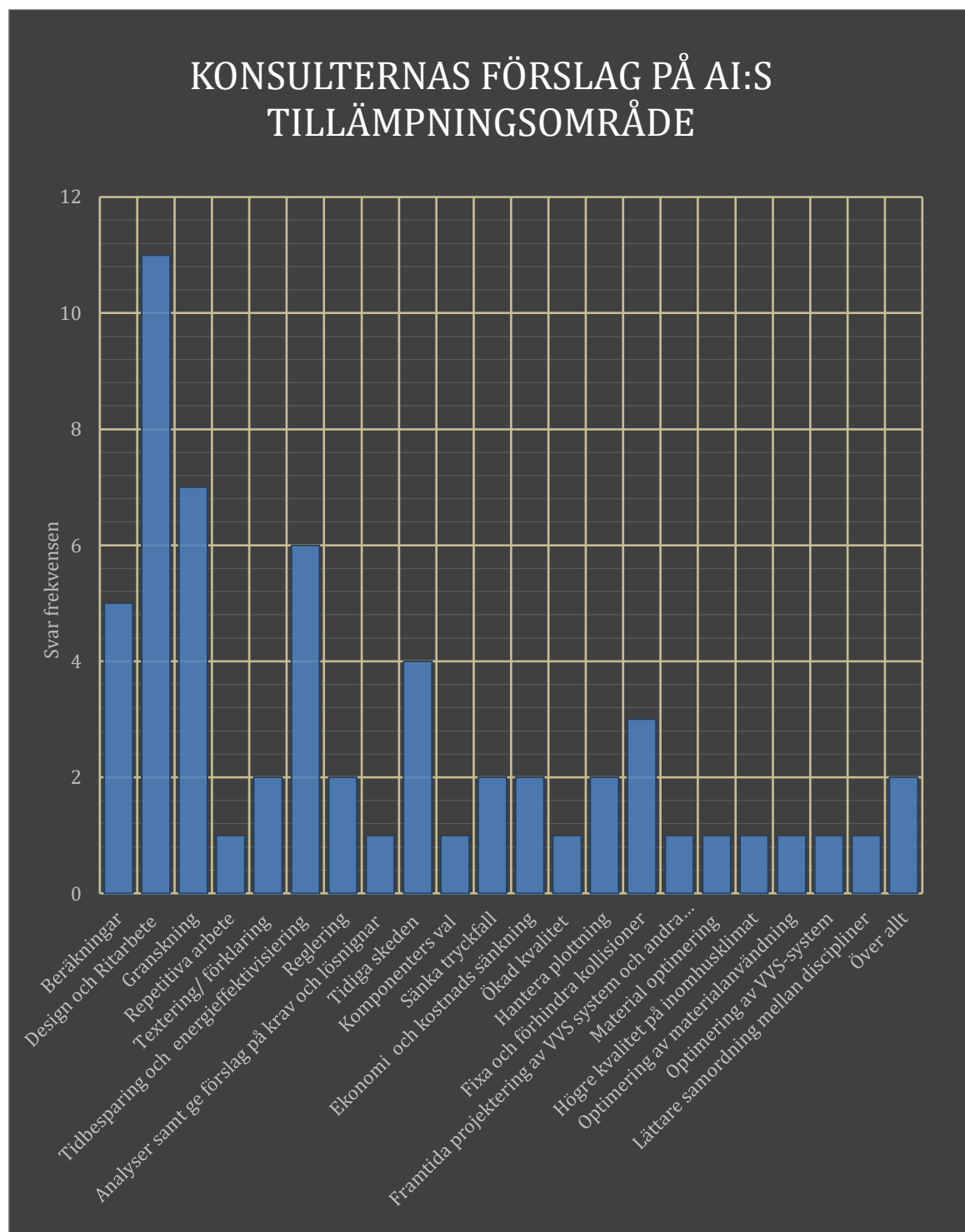
Figur 27 nedan visas fördelning av konsulternas svar gällande framtida arbetsmarknaden efter AI:s tillväxt och om hur sannolikt de ansåg att AI kommer att ersätta deras arbetsuppgifter i projekteringsskedet. 16 konsulter har svarat att det finns stor sannolikhet att AI kommer att ta över projekteringen medan nästan lika många har valt att inte ta någon ställning i frågan. Resterande 7 konsulterna ansåg att sannolikheten däremot var stor. Det svaret där man inte tog någon ställning till frågan kan möjligtvis förklaras att konsulterna räknar med nya arbetsuppgifter som eventuellt kommer skapas i samband med AI-utvecklingen.



Figur 27: konsulternas synpunkt på AI inverkan på deras jobb.

För att kunna dra slutsatser om hur AI kan hjälpa konsulter inom VVS, ställdes en fråga om vilka områden de ansåg att AI kan bli mest framgångsrikt. Denna fråga var öppen och konsulterna kunde uttrycka sina åsikter fritt. Efter sammanställningen visade sig att förslagen var ganska lika, vilket presenteras i Figur 28. Majoriteten ansåg att AI kunde

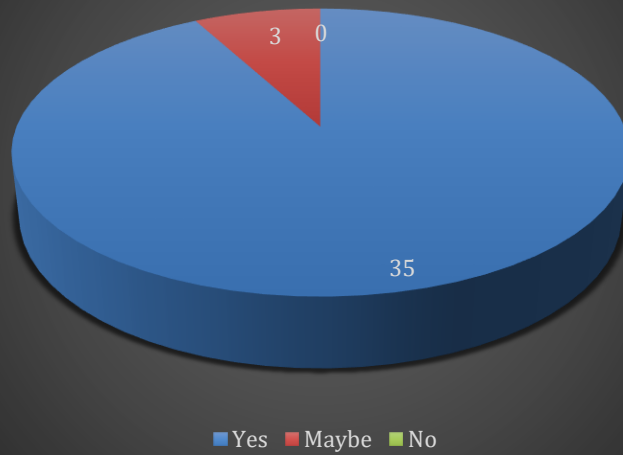
användas för design och ritarbete, granskning och beräkning men kunde samtidigt bidra till tids- och energieffektivisering.



Figur 28: Konsulternas förslag på AI:s tillämpningsområden och dess potentiella gynnsamhet.

Som en avslutningsfråga valdes en fråga om konsulternas nyfikenhet på AI:s potentiella fördelar inom VVS och hur positiva de var att lära sig mer om det. Enligt Figur 29 var majoriteten positiva och nyfikna på AI.

Konsulternas nyfikenhet på AI



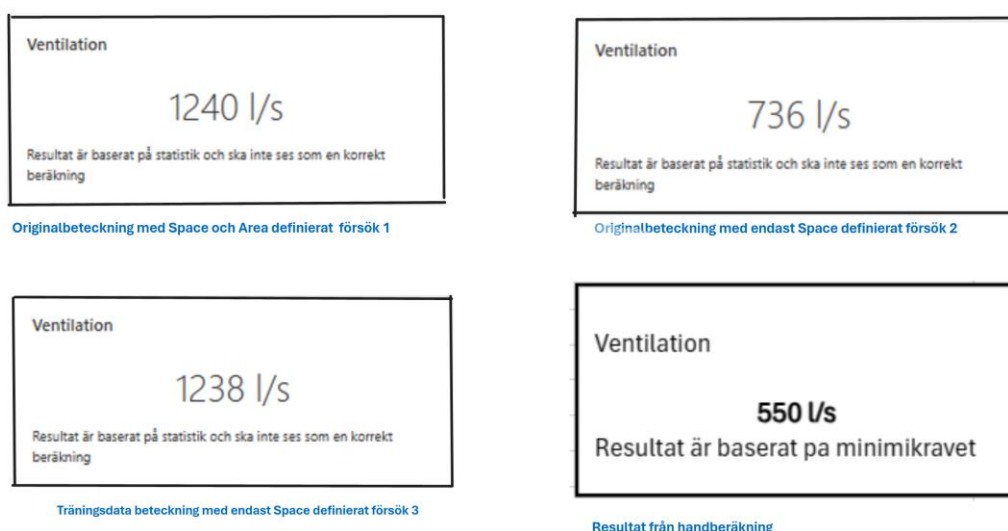
Figur 29: Konsulternas nyfikenhet för AI och dess potentiella fördelar i deras arbete.

7 Diskussion

I detta kapitel utforskas AI:s potential och dess förmåga att effektivisera och stödja konsulternas arbete. Dessutom diskuteras resultatkapitlet och de framtagna svaren från de olika språkmodellerna med hänsyn till miljöpåverkan. Detta kapitel belyser även jämförelsen av tilluftsflöden från BIP-koder och hur de förhåller sig till den traditionella metoden, samt vilka felkällor som har kunnat observeras. Till sist diskuteras möjligheter och risker i samband med implementering av AI i tidiga planeringsskeden inom installationsteknik, både genom att använda BIP-koder och ChatGPT.

7.1 Jämförelse av resultatet mellan BIP-koders applikation och de traditionella metoderna

Resultaten från prediktionen av ventilationsluftflöden från de olika försöken har behållits utan korrigering och betraktats som felkälla i jämförelsen med den handberäknade versionen. Figur 30 nedan visar tydliga olikheter i resultaten, där skillnaderna mellan de olika prediktionerna som har utförts av BIP-applikationen berodde på vilka beteckningar som hade tilldelats till varje rum, storleken på arean för respektive rum och vilka parametrar som hade definierats (Space, Area, eller både).



Figur 30: Resultat av de olika tester som utförts för att beräkna tilluftsflödet.

Vid första anblick av Figur 30 kan det verka som att försök 2, där enbart Space parameter var definierad och originalbeteckningarna var bibehållna, gav ett flöde som låg närmast det handberäknade värdet. Vid noggrannare granskning visade sig att inte alla rum hade tilldelats luftflöde (se Figur 11). Detta berodde på att AI-algoritmerna inte kände igen vissa tilldelade rumsetiketter, medan vissa andra beteckningar var felaktigt benämnda från början, såsom RWC i lägenheten som kallades för Room och därmed blev flöden felaktiga.

När det gäller de två andra försöken från applikationen, nämligen försök 1 och 3, visar Figur 30 att de hade snarlika värden, men skiljde sig avsevärt jämfört med de handberäknade ventilationsflödena. Felen i flöden berodde på att i försök 1 var både Space och Area definierade samtidigt och att alla rum inte kändes igen av algoritmerna.

Med andra ord, försök 1 hade dubbla flöden och felaktiga beteckningar (se Figur 9), där de vita rummen inte tilldelades något flöde. När det gäller försök 3 låg den stora felkällan på lägenheter som hade omnämnts till Room baserat på de erhållna träningsdata. Valet till benämningen gjordes för att algoritmerna skulle känna igen och tolka lägenheten som ett rum som hade ett behov av tilluftsflöde. Dock resulterade denna omnämning till orimliga svar (se Figur 15 för det tilldelade tilluftsflöde för Room), då AI-algoritmerna inte kunde definiera lägenhetens funktion på ett korrekt sätt när den döptes till "Room". Trots detta beslutades att benämningen Room skulle behållas för att möjliggöra tilldelning av tilluftsflöde, då ingen annan beteckning ansågs vara lämplig för ändamålet och gav rimliga tilluftsflöden.

Både BIP-kodens applikation och den traditionella metoden utgick från hygienluftflöde vid ventilationsberäkningen. Däremot utgick applikationen endast från informationen om Area och rumsbeteckning, medan under handberäkningen togs även hänsyn till uppskattat antal människor i de olika utrymmen. Ingen av de genomförda testerna tog hänsyn till komfortluftflöde.

Olika typer av problem och svårigheter uppstod vid användning av BIP-koder. De viktigaste och främsta problemen var att förstå och tolka innebörden av definitionen "Space", vad är skillnad var mellan Space och Area, att hitta de rätta benämningar som algoritmerna kunde känna igen, samt att definiera behovet av tilluftsflöde. En ytterligare viktig punkt som behövde tas hänsyn till var att vid tilldelning av rumsbeteckningar krävdes användning av stora bokstäver, vilket annars innebar att algoritmerna inte kunde känna igen de.

På grund av otillräckliga träningsdata var algoritmerna i BIP-koder överkänsliga för inmatade data, och enstaka felaktiga siffror i den insamlade datan kunde påverka resultaten för alla andra tester. Denna brist på träningsdata bidrog till att algoritmerna i BIP-koder var osäkra i sina prediktioner, vilket kunde återspeglas i över- och undergränsvärden (upper bound och lower bound) som kunde utläsas från inspektionen av koden. Ju större skillnad var mellan upper- och lower bound, desto osäkrare blev algoritmerna i sina svar.

BIP-kodens applikation har en stor potential, men kräver vidareutveckling och en utökad datamängd för att generera mer realistiska och tillförlitliga prediktioner. Vidareutveckling av AI-applikationen skulle kunna underlätta och effektivisera projekteringsprocessen i tidiga skeden genom att spara konsulternas tid som annars går åt att beräkna de nödvändiga flöden och dimensioner av kanaler. På så sätt skulle konsulterna kunna ägna mer tid åt andra saker, såsom materialval och optimering av kanaldesignen med hänsyn till andra viktiga aspekter för ett mer ekonomiskt, hållbart och miljövänligt resultat.

7.2 Analys av ChatGPT:s genererade svar

Resultaten från de olika experimenten visade att ChatGPT, baserat på korrekt formulerade kraven och föreskrifter, kunde tolka bilderna och identifiera eventuella brister. I Figur 21 och Figur 22 illustreras hur språkmodellen har tolkat problemområden utifrån de inmatade föreskrifterna tillsammans med VR bilderna som var tagna i programvaran BIMXplorer. I båda fallen reagerade ChatGPT på placeringen av närliggande don och därigenom kunde förutspå eventuella brister. Eftersom ventilationskanalerna i BIMXplorer presenteras i samma vita färg, valdes i ett av försöken (se Figur 22) att manuellt ange benämningar för tilluft och frånluft. Detta gjordes i syfte att underlätta för ChatGPT att förstå den

analyserade miljön och ge ett mer trovärdigt resultat. Denna åtgärd resulterade i att det genererade svaret blev mer korrekt än fallet utan benämningar, vilket understryker den stora betydelsen med innehållet av indata. När detta tas med i åtanke kan ChatGPT vara till nytta för VVS-projektörer och ge dem möjlighet att åtgärda problemen redan i tidiga skeden av projekten. Detta i sin tur kan förhindra framtida problem som eventuellt kan leda till ombyggnationer som kan bli kostsamma för företagen när byggnaden är färdigställd.

I figurerna Figur 19 och Figur 20 visas hur språkmodellen har analyserat bilderna och genererat svar baserat på de inmatade kanaldimensionerna samt föreskrifter gällande tillåtna avståndet mellan två krökar. Under ett av försöken, som illustreras i Figur 20, valdes avsiktligt att analysera ett fall som var större än det minsta tillåtna avståndet för att undersöka ChatGPT:s tillförlitlighet, vilket resulterade i ett korrekt genererat svar. Däremot funkar detta endast om man matar in alla efterfrågade parametrar i enlighet med föreskrifterna, annars blir det genererade svaret mer generellt och inte specifikt för det inmatade området, se Figur 23.

Förutom analysen av bilderna med utgångspunkt från föreskrifterna, genomfördes även ett försök där ChatGPT:s förmåga att identifiera kollisioner i kanalerna sattes på prov. I Figur 24 presenteras det genererade svaret där språkmodellen gav en mer övergripande problematik som kan uppstå vid felplacering av rör med olika medier. Utmaningen i att ge ett mer detaljerat resultat berodde främst i avsaknaden av kanalbenämningar, vilket försvårade för ChatGPT att bedöma den VR illustrerade miljön.

7.3 Utmaningar och överväganden vid användning av AI-språkmodeller

Följande kapitel presenterar översiktligt hur olika AI-språkmodeller kan påverka de tre grundläggande hållbarhetsdimensioner. Här diskuteras hur olika applikationer av AI som ChatGPT och BIP-koder kan påverka miljö, ekonomin och samhället som i detta fall är framför allt konsulter.

BIP-koder

Om BIP-AI var tillräckligt mogen och kunde utvecklas vidare, skulle prediktionerna bli mer pålitliga och leda till tidseffektivisering. Detta är för att analyserna kan göras på kort tid och därefter överföras till Excel-fil som kan utnyttjas av konsulterna för olika ändamål. Dessutom skulle BIP-applikationen kunna bidra till smartare lösningar och förbättrade rördragningar enligt SBUF (2022), vilket i sin tur kan effektivisera kostnader genom optimerad dimensionering av rör- och kanalsystem. Samtidigt minskar risken för extrakostnader, tid och resurser som kan uppstå vid felavhjälpning. Dessa eventuella fördelar kan jämföras med konsulternas svar i Figur 26 då svaren var ganska jämfördelade över optimering av kanaldragning, energieffektivisering och ökad precision av design med tendens och tro på att innovationen kommer leda till tidsbesparing.

Applikationen skulle avsevärt kunna underlätta konsulternas arbete och ge dem möjlighet att fokusera på mycket annat, såsom tid för förvaltningsfrågor, effektiviseringsåtgärder och miljöfrågor. Dessa potentiella fördelar återspeglas i enkäten via konsulternas svar på synen av AI-implementeringen i deras arbete Figur 27. Enligt SBUF kan BIP-koders

applikation främja smidigare samarbete mellan konsulter, arkitekturer och byggherren för att tidigt i processen kunna diskutera möjliga hållbara lösningar. Exempel på sådana diskussioner kan vara placering av bland annat schakt, rörstråk och aggregatrum (SBUF, 2022). SBUF understryker också att applikationen kan betraktas som ett värdefullt underlag för effektivare kalkylering, övervakning av rimlighet och riskhantering, men kontroll på svaren mot kravställning måste tas i beaktande.

Själva applikation för rör- och kanaldragning kan anses ha en viktig potential för hållbart byggande då den utnyttjar myrors sätt för att hitta den kortaste vägen, vilket bidrar till kortare stråk jämfört med den traditionella metoden. Detta i sin tur leder till mindre resurs- och materialanvändning och mindre utsläpp vid materialframställning. Däremot är det inte alltid rätt att utgå från den kortaste möjliga vägen då det kan påverka andra installationstekniska delar, till exempel placering av frånluftkanalerna.

BIP-koder kan även leda till negativ påverkan ur ett hållbarhetsperspektiv. Ett sådant exempel är att applikationen baserar sina prediktioner på luftflöden från insamlade data och är väldigt känslig för storleken och innehållet i dessa datamängder. Den utgår från ett medelvärde på den relevanta data för tilluftsflöde, som appliceras på olika rum med liknande beteckning och Area, utan att beakta antal personer som är tänkta att vistas där. Detta kan bidra till att ventilationssystemet antingen blir överdimensionerat, om prediktion på tilluftsflöde är hög för ett rum, eller underdimensionerat om det förutsedda luftflödet inte blir tillräckligt för att täcka människornas behov. Dessa problem kan åtgärdas om konsulterna granskar resultaten noggrant eller att BIP-koders algoritmer får fler varierande träningsdata.

Ett förtydligande exempel kan vara ett stort kontorslandskap som är avsett för 150 personer men företaget har endast 30 anställda och inte planerar att anställa fler. Om detta utrymme dimensioneras med BIP-koder, baseras beräkningarna enbart på ytan och beteckningen som tidigare har nämnts, vilket förmodligen kommer leda till att AI:n överdimensionerar systemet. Detta kan bero på att prediktion baseras på data från tidigare projekt, som använts för att träna data, vilka gör att BIP-koder uppger en ungefärligt uppskattning på tilluftsflöde för liknande utrymmen, utan att faktiskt ta hänsyn till antalet personer i verksamheten och deras aktiviteter. Detta kan resultera i ohållbart inneklimat och problematik med kyla och drag, onödigt höga kostnader, ökad resursanvändning på grund av stora kanaler, samt att systemet blir svårare att reglera. Dessutom kan för stora tilluftsflöde leda till ökat frånluftflöde i syftet för att upprätthålla balansen och undvika problem med över- och undertryck. På samma sätt kan AI:n också underdimensionera systemet om den enbart baserar sin prediktion på Arean från träningsdata, vilken kan resultera i en ineffektiv och dålig luftkvalitet.

En annan potentiell nackdel är att konsulterna behöver granska och korrigera AI:s resultat om prediktionerna visar sig vara felaktiga. Detta kan vara tidskrävande och kan upplevas som ett dubbelarbete eftersom konsulterna ändå måste göra om beräkningarna. Detta blir särskilt problematiskt i dagsläget när programmet inte har vidareutvecklats och har begränsad tillgång till träningsdata. Dessutom måste konsulterna själva designa och dimensionera frånluftskanalerna och de tillförande flöden, eftersom BIP-kodens applikation inte erbjuder denna funktionalitet. Detta kan anses leda till slöseri med tid och pengar, eftersom konsulterna måste anpassa designen på frånluftskanalerna till AI:n design för att undvika kollisioner och samtidigt sträva efter att göra systemet så kostnads- och resurseffektivt som möjligt. För närvarande kan konsulterna inte fullt ägna sig åt

andra uppgifter, eftersom applikationen inte är tillräckligt utvecklad. Men potentialen, som det tidigare har nämnts finns där och om BIP-koders algoritmer utökas med mer träningsdata som passar de flesta verksamheter, kan applikationens fördelar så småningom överväga dess nackdelar.

ChatGPT

Eftersom de olika svarsalternativen genereras av ChatGPT på bara några sekunder, utgör det en stor fördel för tideffektivisering av planeringsprocessen och frigör mer utrymme för diskussion av andra frågor, såsom valet av mer hållbara material. Detta förbättrar också kommunikationen och förståelsen mellan olika aktörer och skapar möjlighet för fler personer att engagera sig i problematiken och bidra med sin expertis. Däremot läggs ännu större vikt på de att föreskrifter och lagar som matas in i språkmodellen är pålitliga och relevanta. Informationen som inte har uppdaterats efter de senaste ändringarna kan resultera i felaktiga slutsatser och värden, vilket kan vara avgörande vid bedömning av trovärdigheten hos svaren.

Som det tidigare har nämnts i kapitel 4, kan slutsatser som grundas på felaktiga förutsättningar leda till missvisande framtidsvisioner och beslut, vilket utgör hot mot olika aspekter inom hållbarhet. När det kommer till VVS-branschen kan AI-trenden vara särskilt relevant, trots att de flesta installationstekniska projekteringsmetoder redan bygger på logik. Baserat på tidigare studier i detta arbete har varje projektör mycket utrymme för tolkning av föreskrifter när de utformar av sina projekt. De lagar och regler som finns tillgängliga är utspridda på flera olika platser och kan upplevas svåra att hitta när man försöker sammanställa dem. Dessutom är andelen matematiska formler begränsade och många förlitar sig på arbetserfarenhet och omdömen hos projektörerna. Implementeringen av AI kan därmed fungera som ett standardiserat verktyg och stöd för nyanställda för att minimera fel som kan uppstå på grund av den mänskliga faktorn. AI hjälper också till att utöka visionen och lyfter andra moment som annars riskerar att förbises. Detta kan dock endast uppnås när föreskrifterna finns lättillgängliga och samlade på samma plats. Eftersom det är väldigt tidskrävande att söka och sammanställa all nödvändig information kan det bli ej lönsamt i slutändan.

Ytterligare aspekt som blir relevant vid användning av AI, i detta fall ChatGPT, är den mängden energi- och datorprestanda som krävs vid generering av svar. Precis som det nämns i kapitel 4 medför ökad användning av AI behovet av fler datoranläggningar och därmed mer yta för att bygga dessa anläggningar (Nishant, Kennedy, & Corbet, 2020). För Sverige blir det en fråga om vart i landet dessa anläggningar ska placeras och vilka ytor som ska användas för detta syfte. Risker för ökad energianvändning växer när datorerna behöver bearbeta stora mängder data med hjälp av AI. Även om installationsbranschen kanske inte kommer förlita sig på AI och användningen av datorer blir densamma, är detta något som borde beaktas.

8 Slutsats och vidare forskning

Syftet med detta arbete har varit att utforska potentialen med implementering av artificiell intelligens inom VVS-sektorn och praktiskt genomföra olika försök med hjälp av redan existerande applikationer.

De slutsatser som har kunnat dras efter genomförandet av arbetets samtliga delar är att AI har goda förutsättningar för att kunna implementeras och bidra till effektivisering inom VVS-sektorn, främst under tidiga skeden av projekten. Däremot har det blivit mer tydligt att varken BIP-koder eller ChatGPT är tillräckligt utvecklade för att kunna användas idag. När det kommer till BIP-koder krävs vidareutveckling av applikationens algoritmer samt mer träningsdata för att främja maskininlärningen. För att kunna nyttja språkmodellen ChatGPT inom de tidiga skeden av installationsteknik krävs mer kunskap i hur man formulerar frågan på ett korrekt sätt, samt att man har bättre tillgång till alla nödvändiga föreskrifter, vilket är bristande idag då alla dokument är spridda över flera källor.

Ytterligare slutsats som har kunnat dras är att implementering av AI är fortfarande är väldigt ny och utforskat område för många yrkesverksamma konsulter, vilket kan styrkas från enkäten där endast 10 deltagare av 38 har varit i kontakt med AI under sina projekt, se Figur 25. Trots detta upplevs intresset för innovationen som stark och att många är väldigt nyfikna på att lära sig mer, se Figur 29.

Eftersom artificiell intelligens fortfarande är väldigt nytt koncept både för bygg- och VVS branschen, har innehållet i detta arbete grundats på forskningen och projekt som finns tillgängliga idag. Detta innehåll bör därför betraktas som en början för utforskningen av denna innovation inom installationstekniska sektorn och för att inspirera fler att lära sig mer om AI:s potential. Det är först när AI har blivit mer utvecklat och fler företag har börjat implementera AI inom sin verksamhet som man kommer kunna utvärdera dess verkliga påverkan ur ett hållbarhetsperspektiv.

9 Bilagor

1. Do you work as an HVAC engineer? *

Yes

No

2. Have you followed the recent research about AI in HVAC (**heating, ventilation, and air conditioning**) systems? *

Yes

No

3. On a scale of 1 to 10, how familiar are you with the incorporation of Artificial Intelligence (AI) in HVAC engineering? *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Unfamiliar

Very familiar

4. Have you ever used or been involved in projects where AI tools or algorithms have been used to support the HVAC design process? *

Yes

No

5. Do you see any ethical potential or sustainability benefits in the use of AI in HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) design? *

Yes

Maybe

No

6. What advantages do you see in integrating AI in HVAC design? *

Reduced time for the design phase

Increased precision in system design

Improved energy efficiency

Better optimization of plumbing system

Bilaga 1

7. Do you believe in the potential benefits that AI can offer to HVAC systems, such as enhancing energy efficiency, enabling predictive maintenance, and improving indoor air quality? *

Agree

Neither agree nor disagree

Disagree

8. In which areas of HVAC engineering do you believe the implementation of AI could bring significant benefits?

You can provide your answer in which language you prefer.

Enter your answer

9. Are you curious to learn more about AI and its possibilities to help you in your job? *

Yes

Maybe

No

10. How comfortable would you feel with AI-optimized HVAC systems overseeing and calculating ventilation and water flow? *

Very comfortable

Neither comfortable nor uncomfortable

Very uncomfortable

11. How likely do you think it is that AI will dominate the majority of jobs in the future? *

Very likely

Neither likely nor unlikely

Very unlikely



Bilaga 3

Kallvatten Varmvatten Ventilation					
Excel					
Vald	Rumstyp	Rumsnummer	Area	Våning	Flöde
	Välj -	Enter Rum	Enter Area	Välj -	Enter Flöd
✓	TEKNIK	1	125	Plan 2	
✓	TEKNIK	2	17	Plan 1	19.8
✓	KORRIDOR	6	90	Plan 1	96.5
✓	TVÄTT	7	15	Plan 1	29.2
✓	FRD	8	5	Plan 1	15.1
✓	FRD	9	5	Plan 1	15.1
✓	KONTOR	11	12	Plan 1	42.1
✓	RWC	13	5	Plan 1	42.6
✓	OMKLÄDNING	15	10	Plan 1	23.3
✓	JOUR	17	7	Plan 1	22.3
✓	TEKNIK	18	14	Plan 1	27.1
✓	FRD	22	5	Plan 1	15.1
✓	SAMTALSRUM	23	8	Plan 1	23.1
✓	TEKNIK	27	114	Plan 2	100.1
✓	Room	29	7	Plan 1	22.1
✓	Room	30	7	Plan 1	22.1
✓	Room	32	7	Plan 1	22.1
✓	Room	31	7	Plan 1	22.1
✓	Room	33	7	Plan 1	22.1

Bilaga 4

✓	Room	28	7	Plan 1	22.1
✓	TEKNIK	3	17	Plan 1	19.8
✓	KORRIDOR	7	90	Plan 1	96.5
✓	TVÄTT	8	15	Plan 1	29.2
✓	FRD	9	5	Plan 1	15.1
✓	FRD	10	5	Plan 1	15.1
✓	KONTOR	12	12	Plan 1	42.1
✓	RWC	14	5	Plan 1	42.6
✓	OMKLÄDNING	16	10	Plan 1	23.3
✓	JOUR	18	7	Plan 1	22.3
✓	TEKNIK	19	14	Plan 1	27.1
✓	FRD	23	5	Plan 1	15.1
✓	SAMTALSRUM	24	8	Plan 1	23.1
✓	Room	26	7	Plan 1	22.1
✓	Room	27	7	Plan 1	22.1
✓	Room	28	7	Plan 1	22.1
✓	Room	29	7	Plan 1	22.1
✓	Room	30	7	Plan 1	22.1
✓	Room	31	7	Plan 1	22.1
○	LÄGENHET	3	42	Plan 1	
○	LÄGENHET	4	42	Plan 1	

<input type="radio"/>	LÄGENHET	5	42	Plan 1	
<input type="radio"/>	SINNESRUM	10	16	Plan 1	
<input type="radio"/>	ENTRXC9	12	16	Plan 1	
<input type="radio"/>	ELNISCH	14	2	Plan 1	
<input type="radio"/>	PERSONAL	16	14	Plan 1	
<input type="radio"/>	LÄGENHET	19	43	Plan 1	
<input type="radio"/>	LÄGENHET	20	43	Plan 1	
<input type="radio"/>	LÄGENHET	21	43	Plan 1	
<input type="radio"/>	GEMENSAMHETSUTRYMME	24	61	Plan 1	
<input type="radio"/>	LÄGENHET	4	42	Plan 1	
<input type="radio"/>	LÄGENHET	5	42	Plan 1	
<input type="radio"/>	LÄGENHET	6	42	Plan 1	
<input type="radio"/>	SINNESRUM	11	16	Plan 1	
<input type="radio"/>	ENTRXC9	13	16	Plan 1	
<input type="radio"/>	ELNISCH	15	2	Plan 1	
<input type="radio"/>	PERSONAL	17	14	Plan 1	
<input type="radio"/>	LÄGENHET	20	43	Plan 1	
<input type="radio"/>	LÄGENHET	21	43	Plan 1	
<input type="radio"/>	LÄGENHET	22	43	Plan 1	
<input type="radio"/>	GEMENSAMHETSUTRYMME	25	61	Plan 1	

Bilaga 6



Bilaga 7

Kallvatten

Varmvatten

Ventilation

Excel

Vald	Rumstyp	Rumsnummer	Area	Våning	Flöde
	Välj ▾	Enter Rum:	Enter Area	Välj ▾	Enter Flöd
<input checked="" type="checkbox"/>	TEKNIK	1	125	Plan 2	
<input checked="" type="checkbox"/>	TEKNIK	2	17	Plan 1	19.8
<input checked="" type="checkbox"/>	KORRIDOR	6	90	Plan 1	96.5
<input checked="" type="checkbox"/>	TVÄTT	7	15	Plan 1	29.2
<input checked="" type="checkbox"/>	FRD	8	5	Plan 1	15.1
<input checked="" type="checkbox"/>	FRD	9	5	Plan 1	15.1
<input checked="" type="checkbox"/>	KONTOR	11	12	Plan 1	42.1
<input checked="" type="checkbox"/>	RWC	13	5	Plan 1	42.6
<input checked="" type="checkbox"/>	OMKLÄDNING	15	10	Plan 1	23.3
<input checked="" type="checkbox"/>	JOUR	17	7	Plan 1	22.3
<input checked="" type="checkbox"/>	TEKNIK	18	14	Plan 1	27.1
<input checked="" type="checkbox"/>	FRD	22	5	Plan 1	15.1
<input checked="" type="checkbox"/>	SAMTALSRUM	23	8	Plan 1	23.1
<input checked="" type="checkbox"/>	TEKNIK	27	114	Plan 2	100.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Room	29	7	Plan 1	22.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Room	30	7	Plan 1	22.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Room	32	7	Plan 1	22.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Room	31	7	Plan 1	22.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Room	33	7	Plan 1	22.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Room	28	7	Plan 1	22.1
<input type="checkbox"/>	LÄGENHET	3	42	Plan 1	
<input type="checkbox"/>	LÄGENHET	4	42	Plan 1	
<input type="checkbox"/>	LÄGENHET	5	42	Plan 1	
<input type="checkbox"/>	SINNESRUM	10	16	Plan 1	
<input type="checkbox"/>	ENTRXC9	12	16	Plan 1	
<input type="checkbox"/>	ELNISCH	14	2	Plan 1	
<input type="checkbox"/>	PERSONAL	16	14	Plan 1	
<input type="checkbox"/>	LÄGENHET	19	43	Plan 1	
<input type="checkbox"/>	LÄGENHET	20	43	Plan 1	
<input type="checkbox"/>	LÄGENHET	21	43	Plan 1	
<input type="checkbox"/>	GEMENSAMHETSUTRYMME	24	61	Plan 1	

Bilaga 8

10 Referenser

- Alegsa, L. (den 18 06 2022). *Förstärkningsinläring*. Hämtat från Alegsaonline.com: <https://sv.alegsonline.com/art/81975>
- Autodesk. (den 09 11 2020). *Spaces vs. rooms in architecture model*. Hämtat från Revit Architecture Forum: <https://forums.autodesk.com/t5/revit-architecture-forum/spaces-vs-rooms-in-architecture-model/td-p/9742970>
- Autodesk. (2021). *Area Analysis*. Hämtat från Autodesk Revit: <https://forums.autodesk.com/t5/revit-architecture-forum/spaces-vs-rooms-in-architecture-model/td-p/9742970>
- Balanced body articles. (den 16 6 2021). *Förstärkningsinläring: Vad är algoritmer, applikationer, exempel*. Hämtat från <https://balancedbodyketo.org/sv/f%C3%B6rst%C3%A4rkningsinl%C3%A4rning-vad-%C3%A4r-algoritmer-applikationer-exempel/>
- BIP. (den 02 05 2024). *Allmänt om BIP*. Hämtat från <https://www.bipkoder.se/#/info>
- Blum, C. (2005). *Ant colony optimization: Introduction and recent trends*. Hämtat från Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1571064505000333>
- Boverket. (den 5 5 2023). *Luft och ventilation i bostäder*. Hämtat från <https://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/ventilation/luft-och-ventilation-i-bostader/>
- Boverket. (den 10 maj 2023). *Luftkvalitet inomhus*. Hämtat från Boverket, Regler om Byggande: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ventilation/luftkvalitet-inomhus/>
- Brohn, C.-E. (den 07 11 2022). *BIP AI FÖR VVS i tidiga skeden*. Hämtat från SBUF: <https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/95f7b166-117a-4bad-8ea4-04d7f5ad512e/FinalReport/SBUF%2014122%20Slutrapport%20BIP%20AI%20f%C3%B6rst%20VVS%20i%20tidiga%20skeden.pdf>
- Burkov, A. (2019). *The Hundred-Page Machine Learning Book*. USA: Andriy Burkov.
- Ciucci, M. (11 2023). *Energieffektivitet*. Hämtat från Europaparlamentet: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/sv/sheet/69/energieffektivitet>
- Coursera. (den 19 3 2024). *What is Natural Language Processing? Definition and Examples*. Hämtat från <https://www.coursera.org/articles/natural-language-processing>
- eitca.org. (den 2024 5 2024). *ARTIFICIELL INTELLIGENS, EITC/AI/ARL ADVANCED REINFORCEMENT LEARNING, BESKRIVNING, INTRODUKTION TILL FÖRSTÄRKNINGSLÄRANDE, EXAMENSGRANSKNING*. Hämtat från Hur påverkar belöningsignalen en agents beteende vid förstärkningsinläring?: <https://sv.eitca.org/artificiell-intelligens/eitc-ai-arl-avancerad-f%C3%B6rst%C3%A4rkningsinl%C3%A4rning/introduktion-eitc-ai-arl-avancerad-f%C3%B6rst%C3%A4rkningsinl%C3%A4rning/introduktion-till-f%C3%B6rst%C3%A4rkningsinl%C3%A4rning/examination-review-intr>
- Elements of AI. (2024). *Filosofin kring artificiell intelligens*. Hämtat från <https://course.elementsofai.com/se/1/3>
- Europaparlamentet. (2023). *Artificiell intelligens: Möjligheter och risker*. Hämtat från https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2020/9/story/20200918STO87404/20200918STO87404_sv.pdf
- Europeiska Kommissionen. (2018). *MEDDELANDE FRÅN KOMMISSIONEN TILL EUROPAPARLAMENTET, EUROPEISKA RÅDET, RÅDET, EUROPEISKA*

EKONOMISKA OCH SOCIALA KOMMITTÉN OCH REGIONKOMMITTÉN.

Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0237&qid=1575297625924&from=SV>

- Fischel, C. (den 3 12 2023). *VVS-projektering: Nyckeln till Effektiva och Hållbara Byggnader*. Hämtat från Byggbranschen.blog: <https://byggbranschen.blog/vvs-projektering-nyckeln-till-effektiva-och-hallbara-byggnader/>
- FN. (den 01 04 2024). *FN-fakta Hållbar utveckling*. Hämtat från <https://fn.se/wp-content/uploads/2016/08/Faktablad-2-12-Hållbar-utveckling.pdf>
- Folkhälsomyndigheten. (den 2 1 2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation FoHMFS 2014:18*. Hämtat från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/publikationsarkiv/f/folkhalsomyndighetens-allmanna-rad-fohmfs-2014-18/>
- Folkhälsomyndigheten. (den 9 2 2023). *Vägledning om ventilation*. Hämtat från <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/ventilation/#luftkvalitet>
- Ghoseiri, K., & Nadjari, B. (2010). *An ant colony optimization algorithm for the bi-objective shortest path problem*. Hämtat från Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494609001963?via=ihub>
- Gunay, D. (2023). *Random Forest*. Hämtat från Medium: <https://medium.com/@denizgunay/random-forest-af5bde5d7e1e>
- Hildingson, K. (2020). *Aristoteles och konsten att systematisera*. Hämtat från SO-rummet: <https://www.so-rummet.se/fakta-artiklar/aristoteles-och-konsten-att-systematisera#>
- History of Data Science. (2021). *AI Winter: The Highs and Lows of Artificial Intelligence*. Hämtat från <https://www.historyofdatascience.com/ai-winter-the-highs-and-lows-of-artificial-intelligence/>
- History of Data Science. (2021). *Dartmouth Summer Research Project: The Birth of Artificial Intelligence*. Hämtat från <https://www.historyofdatascience.com/dartmouth-summer-research-project-the-birth-of-artificial-intelligence/>
- Ireland, D., & Kai Bradford, D. (2020). *Aristotle and the chatbot: how ancient rules of logic could make artificial intelligence more human*. Hämtat från The Conversation: <https://theconversation.com/aristotle-and-the-chatbot-how-ancient-rules-of-logic-could-make-artificial-intelligence-more-human-142811>
- Käll, G., & Genberg, H. (2000). *EL- och VVS-installationer; projektering, redovisning, upphandlingar och uppföljning*. Stockholm: Fälth & Hässler AB. Hämtat från Projektering, redovisning,.
- Kennedy, G. L. (2023). *Artificial General Intelligence (AGI) for Medical Education and Training*. Hämtat från <https://osf.io/preprints/africarxiv/xytzm>
- Klinger, N. (2024). *The 3 Types of Artificial Intelligence: ANI, AGI, and ASI Read more at: <https://viso.ai/deep-learning/artificial-intelligence-types/>*. Hämtat från Viso.AI: <https://viso.ai/deep-learning/artificial-intelligence-types/>
- Kuleshov, A. P., & Cichocki, A. (2021). *Future Trends for Human-AI Collaboration: A Comprehensive Taxonomy of AI/AGI Using Multiple Intelligences and learning styles*. doi:8893795:1-8893795:21
- Kumar Kar, A., Kumari Choudhary, S., & Kumar Singh, V. (2022). *How can artificial intelligence impact sustainability: A systematic literature review*. Science Direct.
- Mehan, D. J. (2022). *Artificial Intelligence Ethical, social, and security impacts for the present and the future*. United kingdom: IT Governance.

- Microsoft. (2023). *Vad är AI-agenter?* Hämtat från <https://learn.microsoft.com/sv-se/azure/cloud-adoption-framework/innovate/best-practices/conversational-ai>
- Microsoft. (2024). *Vad är djupinlärning?* Hämtat från Microsoft Azure: <https://azure.microsoft.com/sv-se/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-deep-learning/>
- Microsoft. (2024, a). *Skapa klassiska maskininlärningsmodeller med övervakad inlärning.* Hämtat från <https://learn.microsoft.com/sv-se/training/modules/introduction-to-classical-machine-learning/>
- Microsoft. (2024, b). *Definiera övervakad utbildning.* Hämtat från <https://learn.microsoft.com/sv-se/training/modules/introduction-to-classical-machine-learning/2-supervised-learning>
- Nelson, D. (2020). *What is a Decision Tree.* Hämtat från Unite.AI: <https://www.unite.ai/what-is-a-decision-tree/>
- Nelson, D. (2021). *Generative vs. Discriminative Machine Learning Models.* Hämtat från Unite.AI: <https://www.unite.ai/generative-vs-discriminative-machine-learning-models/>
- Nishant, R., Kennedy, M., & Corbet, J. (2020). *Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda.* Science Direct.
- NordVPN. (2024, a). *Olika typer av maskininlärning.* Hämtat från <https://nordvpn.com/sv/blog/maskininlarning/#:~:text=Halvt%20%C3%B6vervakad%20inl%C3%A4rning,-Halvt%20%C3%B6vervakad%20inl%C3%A4rning&text=H%C3%A4r%20anv%C3%A4nds%20b%C3%A5de%20m%C3%A4rkt%20och,l%C3%A4ra%20sig%20p%C3%A5%20egen%20hand.>
- Nti. (10 2022). *Allt du behöver veta om IFC.* Hämtat från <https://www.nti-group.com/se/blogg/se/2022/allt-du-behoover-veta-om-ifc/>
- OpenAI. (den 30 3 2024). *Introducing ChatGPT.* Hämtat från <https://openai.com/blog/chatgpt>
- Regeringskansliet. (2016). *Agenda 2030 för hållbar utveckling.* Hämtat från <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/globala-malen-och-agenda-2030/agenda-2030-for-hallbar-utveckling/>
- Russel, S., & Norvig, P. (2022). *Artificial intelligence : a modern approach. Fourth edition global edition.* Pearson Education Limited.
- Saka, A., Taiwo, R., Saka, N., Salami, B. A., Ajayi, S., Akande, K., & Kazemi, H. (3 2024). *GPT models in construction industry: Opportunities, limitations, and a use case validation.* Hämtat från Elsevier: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165923001825>
- Sateei, S., Roupé, M., & Johansson, M. (2019). *Kollaborativ informationsstruktur.* Smart Built Enviroment. Hämtat från <https://www.smartbuilt.se/media/5dlc4cxb/smartbuilt-rapport-kollaborativ-informationsstruktur.pdf>
- SBUF. (2022). *BIP AI FÖR VVS I TIDIGA SKEDEN.* Hämtat från <https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/95f7b166-117a-4bad-8ea4-04d7f5ad512e/FinalReport/SBUF%2014122%20Slutrappport%20BIP%20AI%20för%20VVS%20i%20tidiga%20skeden.pdf>
- Smart Built Enviroment. (den 26 03 2024). *Vad gör Smart Built Environment?* Hämtat från <https://www.smartbuilt.se/om-oss/verksamhet/>
- Tillberg, A. (2024). *Leonardo da Vinci.* Hämtat från <https://www.sorummet.se/kategorier/leonardo-da-vinci#>

- Turing. (den 30 3 2024). *Generative Models vs Discriminative Models: Which One to Choose?* Hämtat från <https://www.turing.com/kb/generative-models-vs-discriminative-models-for-deep-learning>
- Turing. (2024). *Generative Models vs Discriminative Models: Which One to Choose?* Hämtat från Turing: <https://www.turing.com/kb/generative-models-vs-discriminative-models-for-deep-learning>
- United Nations Development Programme. (2023). *Andra halvlek*. Hämtat från Globala Målen: <https://www.globalamalen.se/andra-halvlek/>
- Urena, V. (den 22 1 2024). *SERVICENYHETER.se*. Hämtat från VVS-projektering-en grund till effektiv värme, ventilation och sanitet: <https://servicenyheter.se/vvs-projektering-en-grund-till-effektiv-varme-ventilation-och-sanitet/>
- Wang, H., Xu, P., Sha, H., Gu, J., Xiao, T., Yang, Y., & Zhang, D. (den 23 12 2021). *BIM-based automated design for HVAC system of office buildings*. Hämtat från <https://link.springer.com/article/10.1007/s12273-021-0883-7>
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2020). *Projektering av VVS-installationer*. Poland: Interak.
- Wikipedia. (03 2024). *Intelligent agent*. Hämtat från https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_agent
- Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I. L., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., . . . Fuso Nerini, F. (den 13 01 2020). *The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals*. Hämtat från Nature communications: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-14108-y>
- Visma. (den 22 02 2024). *Vad är ett API?* Hämtat från <https://vismaspcs.se/ekonomiska-termer/vad-ar-api#Vad%20betyder%20API%20och%20Vad%20inneb%C3%A4r%20det?>
- Zieniūtė, U. (den 21 5 2023). *Vad är djupinlärning och hur fungerar det?* Hämtat från NordVPN: <https://nordvpn.com/sv/blog/djupinlarning/>