

Institutt for bygg- og energiteknikk — Energi og miljø i bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

Webside: www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

BIM i prosjektering av inneklimaannlegg i bygg	DATO: 25.5.2022
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 39 sider / Ingen vedlegg
FORFATTERE: Harald Vårdal	VEILEDER: Ole Melhus
UTFØRT I SAMARBEID MED:	KONTAKTPERSON: Peter G. Schild

KORT SAMMENDRAG:

For at byggebransjen skal ta del i effektene av industri 4.0 og industri 5.0 er det en forutsetning med verktøy som kan håndtere store mengder data. Data må struktureres på en måte som gjør at den kan vedlikeholdes, bearbeides, presenteres og utveksles effektivt mellom ulike systemer. Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er teknologien som skal håndtere disse prosessene og har vekket stor interesse og oppslutning i byggebransjen. Teknologien blir allerede implementert på et visst nivå i de fleste byggeprosjekter og forventningene er store til hvordan teknologien skal bidra til å forbedre prosessene i bransjen. Riktig implementasjon av BIM i kombinasjonen med brukervennlige og innovative verktøy har stort potensiale for å bidra til automatisering og beslutningsstøtte innenfor prosjektering av inneklimaannlegg. Det er imidlertid usikkert om standardene i seg selv og implementasjonen av disse er modne for disse bruksområdene i dag.

NØKKEWORD (en per linje):

BIM
OpenBIM
Inneklimaannlegg
Industri 5.0

Oppgavetekst

Nøkkelinformasjon

Tittel: BIM i prosjektering av inneklimaanlegg i bygg

English title: BIM in the design of indoor climate systems in buildings

Hovedveileder: Ole Melhus

Bakgrunn

I den første industrielle revolusjonen tok vi i bruk maskiner drevet av vannkraft eller motorer for å effektivisere produksjon som tidligere ble gjort med håndkraft. I den andre ble infrastrukturen revolusjonert av teknologier som jernbane, telegraf og elektrisitet, som bidro til å effektivisere transport og kommunikasjon. I den tredje industrielle revolusjonen, som også kalles den digitale, har muligheten for programmering, utveksling av data i digital form og virtuell visualisering bidratt til å automatisere prosesser, effektivisere kommunikasjon og utvikling av digitale verktøy. [1]

I 2022 er vi inne i en informasjonstidsalder der teknologi gir oss enorme muligheter for innsamling, analyse og bearbeidelse av data. Teknologier som Big Data, maskinlæring og kunstig intelligens benyttes allerede som hjelpemiddel for å gjøre analyser og vurderinger som er langt mer komplekse enn det noe enkeltmenneske eller organisert gruppe ville vært i stand til med konvensjonelle midler.

Vi står også foran et grønt skifte hvor vi skal løse klimaproblemene, men samtidig sørge for fortsatt og økt velstand i hele verden. I industrien benyttes begrepet Industri 4.0, den fjerde industrielle revolusjon eller 4IR, om hvordan informasjonsflyt mellom systemer og automatisering vil skape et tydelig skifte i den teknologiske og industrielle utviklingen. Sett i sammenheng med nevnte informasjonsteknologier vil vi være i stand til å hente inn data, strukturere denne og identifisere muligheter for optimaliseringer, utveksle erfaringer på tvers av bransjer og automatisere i et omfang som ikke har vært mulig tidligere.

Samtidig ser industrien allerede mot Industri 5.0 (5IR) hvor menneskers kreativitet, vurderingsevne og samarbeidsevne skal knyttes sammen med maskinenes prosesseringskraft, presisjonen og fysiske styrke. Her er ikke målet at maskiner skal erstatte mennesket, men derimot realisere synergipotensialet ved å utfylle menneskets svakheter og skjerme oss fra belastende og farlig arbeid slik at menneskets energi kan frigjøres til å utføre skapende og givende arbeid. [2]

For at byggebransjen skal ta fullt del i den fjerde og femte industrielle revolusjonen er det en forutsetning med riktige verktøy og til å håndtere store mengder data. Data må struktureres på en måte som gjør at den kan vedlikeholdes, bearbeides, presenteres og utveksles effektivt mellom ulike systemer.

Mål

Målet med denne oppgaven er å utforske BIM som teknologi og dagens rammeverk av gjeldende standarder kan bidra til å oppfylle effektene av industri 4.0 og industri 5.0 innenfor prosjektering av inneklimaanlegg. Dette er inndelt i følgende delmål:

1. Forstå hvilke aktører som er relevante for BIM til bruk i prosjekteringen av inneklimaanlegg og hvilke roller og agendaer disse aktørene har
2. Forstå rammeverket rundt BIM som teknologi og relevante begreper.
3. Vurdere bruksområder for BIM i prosjektering av inneklimaanlegg innenfor rammene av Industri 4.0 (IR4) og Industri 5.0 (IR5) og i hvilken grad bruksområdene kan løses med verktøy basert på rammeverket for BIM

Forord

I 2017 fullførte jeg bachelorstudiet i mekanisk ingeniørfag før jeg startet yrkeskarrieren som VVS-ingeniør med engasjement som rådgiver i ulike byggeprosjekter. Jeg er opptatt av at vi som rådgivere har kompetanse og verktøyene som trengs for å hensynta alle relevante parametere i prosjekteringen. På den måten har man også forutsetninger for å levere de beste løsningene tilpasset hvert enkelt prosjekt. Videre er det avgjørende at denne kunnskapen og kompetansen finner veien frem til løsningene som prosjekteres, produksjonsunderlaget som leveres og anleggene som bygges.

I de fleste prosjekter benyttes bygningsinformasjonsmodellering (BIM) med en viss detaljeringsgrad slik at modellen kan benyttes for tverrfaglig koordinering og som underlag for produksjon av arbeidstegninger. Prosjekteringen av de tekniske systemene, dokumentasjon av løsninger og underlag for beregninger gjøres etter min erfaring i separate systemer uten sammenkobling av data. Dette kan skyldes mangel på egnede verktøy, manglende kompetanse på bruken av slike verktøy eller mangel på interesse. Resultatet kan imidlertid være at man går glipp av potensielle gevinster knyttet til eksempelvis tverrfaglig utveksling av informasjon, beslutningsstøtte eller muligheter for automatisering av arbeidsprosesser. Jeg tror det finnes gevinster i form av lønnsomhet og effektivitet som kan realiseres ved å kombinere mer avanserte BIM-teknologi med eksisterende informasjonsteknologi for å optimalisere og automatisere arbeidsprosesser som utføres omtrent på samme i dag som før den digitale revolusjonen

Med dette utgangspunktet har det vært en utfordring å finne en hensiktsmessig avgrensning av oppgaven. Med BIM og digitale tvillinger som utgangspunkt er landskapet omtrent endeløst og mye er enda upløyd mark. Med denne oppgaven og i mitt videre arbeid håper jeg å kunne gi et bidrag til å utvikle bransjen i riktig retning.

Jeg vil takke alle venner, kolleger, veiledere og Martina som har tatt seg tid til å diskutere disse temaene både i og utenfor arbeidstiden og som har delt sine tanker og kompetanse. Dette inspirerer til å være på giversiden med min egen kunnskap, kreativitet og tid slik at vi sammen kan bidra til de beste løsningene for fremtiden.

Sammendrag

Den fjerde industrielle revolusjon (4IR) har satt fart på teknologi knyttet til informasjonsflyt mellom systemer og automatisering av manuelle og repetitive arbeidsprosesser og forventes å skape et tydelig skifte i den teknologiske og industrielle utviklingen. Samtidig ser industrien allerede mot Industri 5.0 (5IR) hvor teknologien som middel for å realisere og utnytte menneskets energi, egenskaper og selvrealiseringsbehov står i sentrum. Målet er ikke lenger å automatisere bort mennesket, men derimot å realisere synergipotensialet mellom teknologiens nøyaktighet, prosesseringskapasitet og fysiske kapasiteter med menneskets kreative skaperkraft. Med den retningen skal man finne frem til de beste løsningene og samtidig skape givende og meningsfulle arbeidsoppgaver.

For at byggebransjen skal ta del i effektene av industri 4.0 og industri 5.0 er det en forutsetning med verktøy til å håndtere store mengder data. Data må struktureres på en måte som gjør at den kan vedlikeholdes, bearbeides, presenteres og utveksles effektivt mellom ulike systemer.

Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er teknologien som skal håndtere disse prosessene og har vekket stor interesse og oppslutning i byggebransjen. Teknologien blir allerede implementert på et visst nivå i de fleste byggeprosjekter og forventningene er store til hvordan teknologien skal bidra til å forbedre prosessene i bransjen.

En viktig forutsetning for BIM er å bygge ned barrierer mellom datasiloer som er til hinder for utveksling av data mellom aktører og systemer. BIM skal sikre interoperabilitet mellom aktørene i bransjen som er en forutsetning for fullverdig utnyttelse av teknologien og realisering av effektene knytte til IR4 og IR5.

BuildingSMART med sine medlemmer representerer et bredt spekter av aktørene i bransjen som har mulighet til å bidra i standardiseringsarbeidene gjennom å kommunisere sine behov og brukstilfeller til de relevante komiteene. BuildingSMART process er en standardisert metode for utvikling av standarder i buildingSMART og baserer seg på at arbeidet som legges ned skal gi mest mulig nytteverdi for bransjen.

Kombinasjonen av IFC, bSDD og IDM med tilhørende standarder gjøre det mulig å beskrive alle fysiske og abstrakte elementer i byggs livsløp entydig i form av IFC- og BCF-baserte datastrukturer. OpenCDE API utvikles i regi av BuildingSMART og vil skape nye muligheter for utveksling og sammenkobling av data både internt og på tvers av BIM-modeller.

Riktig implementasjon av BIM i kombinasjonen med brukervennlige og innovative verktøy har stort potensiale for å bidra til automatisering og beslutningsstøtte innenfor prosjektering av innklima-anlegg. Det er imidlertid usikkert om standardene i seg selv og implementasjonen av disse er modne for disse bruksområdene i dag. Antagelig mangler enda de nødvendige verktøyene.

Utover standardiseringsaspektet av teknologien som oppgaven er begrenset til vil det sannsynligvis være utfordringer knyttet til andre aspekter av byggeprosjekter som ikke er beskrevet i denne oppgaven. Eksempelvis vil det sannsynligvis være utfordrende å realisere fullstendig interoperabilitet i økosystemet av aktører, brukere og agendaer.

English Summary

The fourth industrial revolution (4IR) has accelerated technologies involving data exchange and automation of manual and repetitive tasks expected to result in a distinct shift in the technological and industrial development. The industry however is already looking towards the fifth industrial revolution (5IR) which is expected to realize and utilize human energy, skills and need for self-realization. To automate to eliminate the need for human labor is no longer the objective, but to rather to realize the synergy potential between the technology's precision, processing capacity and physical capacities and human creativity. This direction aims to come up with the best solutions and provide humans with rewarding tasks.

The construction industry needs suitable tools to handle extensive amounts of data to take part in 4IR and 5IR. Data needs to be structured in a way that makes them easily maintained, edited, presented and efficiently to change between systems

Building Information Modelling (BIM) is the technology for handling these processes and it has caught great interest in the construction industry. The technology is already being implemented at a certain level in most construction projects and expectations are high for how the technology will contribute to improving the processes in the industry.

An important prerequisite for BIM is to reduce barriers between data silos that prevent the exchange of data between actors and systems in projects. BIM is meant to ensure interoperability between the actors in the industry, which is a prerequisite for full utilization of the technology and realization of the effects related to IR4 and IR5.

BuildingSMART with their members represent a wide range of actors from the industry who have the opportunity to contribute to the standardization work by communicating their needs and use cases to the relevant committees. The buildingSMART process is a standardized method for developing standards in buildingSMART which prioritizes use cases that is of the greatest importance and value to the industry.

The combination of IFC, bSDD and IDM with associated standards make it possible to describe all physical and abstract elements in the life cycle unambiguously in the form of IFC- and BCF-based data structures. The OpenCDE API is under development under BuildingSMART and will create new opportunities for the exchange and interconnection of data both internally and between BIM models.

Proper implementation of BIM in combination with user-friendly and innovative tools has comprehensive potential for automation and decision support within the design of indoor climate systems. However, it is uncertain whether the standards themselves and their implementation are mature for these applications today. The necessary tools are probably still not available.

In addition to the standardization aspect of the technology, which the thesis is limited to, there will probably be challenges related to other aspects of construction projects that are not described in this thesis. For example, it will probably be challenging to realize complete interoperability in the ecosystem of actors, users and agendas.

Innhold

Oppgavetekst	ii
Nøkkelinformasjon.....	ii
Bakgrunn.....	ii
Mål.....	ii
Forord	iii
Sammendrag	iv
English Summary.....	v
Innhold.....	vi
1 Introduksjon	1
2 Metode.....	2
2.1 Avgrensning.....	3
3 Resultater	4
3.1 Industriens historie.....	4
3.2 Relevante aktører.....	4
3.3 Digitale tvillinger.....	7
3.4 Bygningsinformasjonsmodellering (BIM)	8
3.5 Standarder	13
3.7 OpenBIM	16
3.8 OpenCDE API.....	17
3.9 Industry Foundation Classes (IFC)	17
3.10 BIM Collaboration Format (BCF).....	22
3.11 Model View Definition (MVD).....	22
3.12 Information Delivery Manual / Specification (IDM / IDS).....	23
3.13 BuildingSmart Data Dictionary (BsDD).....	23
3.14 Green Building XML (gbXML)	24
3.15 Alternative modellformater.....	24
3.16 Inneklima­anlegg.....	24
3.17 Prosjektering.....	27
4 Diskusjon.....	29
4.1 Bruk av BIM.....	29
4.2 Sammenkobling av data	31
4.3 Simulering.....	31
4.4 Kommunikasjon.....	32
4.5 Beslutningsstøtte.....	33
4.6 Automatisering.....	33
4.7 Redusere risiko	33
4.8 Driftsfase.....	34
4.9 Utfordringer med BIM.....	34
5 Konklusjoner.....	35
5.1 Refleksjon.....	36
6 Referanser.....	37

1 Introduksjon

Denne tredje, digitale industrielle revolusjon har hatt betydelig innvirkning på hvordan bygg prosjekteres. Produksjonsunderlag har eksempelvis utviklet seg fra håndtegnede arbeidstegninger til underlag basert på ulike former for digitale tvillinger. Som en ren erstatning for håndtegnede arbeidstegninger vil en digital tvilling gjerne begrense seg til å beskrive kun geometriske bygningsdata, blant annet kjent som slim BIM.

Begrepet Industri 4.0, den fjerde industrielle revolusjon eller 4IR handler om hvordan informasjonsflyt mellom systemer og automatisering vil skape et tydelig skifte i den teknologiske og industrielle utviklingen. Samtidig ser industrien allerede mot Industri 5.0 (5IR) hvor menneskers kreativitet, vurderingsevne og samarbeidsevne skal knyttes sammen med maskinenes prosesseringskraft, presisjonen og fysiske styrke. Her er ikke målet at maskiner skal erstatte mennesket, men derimot realisere synergipotensialet ved å utfylle menneskets svakheter og skjerme oss fra belastende og farlig arbeid slik at menneskets kapasitet frigjøres til oppgavene som passer oss best. [1] [3]

For at byggebransjen skal ta del i effektene av industri 4.0 og industri 5.0 er det en forutsetning med verktøy til å håndtere store mengder data. Data må struktureres på en måte som gjør at den kan vedlikeholdes, bearbeides, presenteres og utveksles effektivt mellom ulike systemer. Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er teknologien som skal håndtere disse prosessene.

Denne oppgaven utforsker BIM som teknologi og rammeverk og hvordan det kan bidra til å oppfylle effektene av industri 4.0 og industri 5.0 innenfor prosjektering av inneklimateknikk. Oppbygningen av rammeverket, standarder og begreper knyttet til BIM og benyttes i kombinasjon med kartlegging av relevante aktører og deres roller til å vurdere i hvilken grad potensialet kan realiseres innenfor dagens rammeverk av gjeldende standarder.

2 Metode

Denne oppgaven er utført som besvarelse for vurdering i emnet MAEN5900 Masteroppgave, som er den avsluttende delene av masterstudiet i energi og miljø i bygg ved OsloMet.

Oppgaven er av utforskende art og tar sikte på å kartlegge potensialet som finnes for å utnytte BIM i prosjektering av inneklimateknikk innenfor rammene av Industri 4.0 og Industri 5.0 og i hvilken grad dagens rammeverk kan oppfylle dette basert på gjeldende standarder.

Omfanget av oppgaven er tilpasset arbeidsmengden som kreves for masteroppgaven og er ikke uttømmende om emnet. Oppgavens omfang har vært tilpasset i flere omganger etter hvert som kompleksiteten innenfor de ulike emnene har blitt klarere.

For søk med søkemotor er google.com benyttet. For litteratursøk etter fagartikler er fortrinnsvis researchgate.net og elsevier.com benyttet.

Følgende inndeling korresponderer med delmålene for prosjektet

1. Forstå hvilke aktører som er relevante for BIM til bruk i prosjekteringen av inneklimateknikk og hvilke roller og agendaer disse aktørene har

Hensikt

Få oversikt over relevante aktører, hvilket forhold til de har til BIM og deres agenda i utviklingen av teknologien som grunnlag for å forstå dynamikken i utviklingen av teknologien

Arbeidsoppgaver

- Kartlegge sentrale aktører i arbeidet med utvikling av BIM

Metode

- Søk opp nasjonale og internasjonale aktører ved hjelp av søkemotor.
- Se etter aktørers omtale av hverandre i egen dokumentasjon.
- Søk opp medlemslister for relevante interesseorganisasjoner.
- Gjennomgang av studentarbeider i buildingSMARTs database.

2. Forstå rammeverket rundt BIM som teknologi og relevante begreper

Hensikt

Få oversikt over rammeverket rundt BIM som teknologi og relevante begreper for å forstå hva som er målsetningene for teknologien og hvordan teknologien er bygget opp

Arbeidsoppgaver

- Kartlegge standardiseringsarbeid og relevante begreper knyttet til BIM
- Kartlegge alternative formater og rammeverk knyttet til BIM

Metode

- Søk opp relevante standardiseringsarbeider knyttet BIM i form av både offisielle standarder og bransjepraksiser.
- Litteratursøk i fagartikler om BIM og bruk av teknologien
- Litteratursøk i fagartikler om utfordringer knyttet til utveksling av data i byggeprosjekter

3. Vurdere bruksområder for BIM i prosjektering av inneklimaanlegg innenfor rammene av Industri 4.0 (IR4) og Industri 5.0 (IR5) og i hvilken grad bruksområdene kan løses med verktøy basert på rammeverket for BIM

Hensikt

Vurdere hvordan rammeverket for BIM egner seg til å løse bruksområder knyttet til prosjektering av inneklimaanlegg innenfor rammene av IR4 og IR5.

Arbeidsoppgaver

- Beskrive en typisk inneklimainstallasjon og de vitenskapelige prinsippene som ligger til grunn for anleggenes funksjon
- Kartlegge relevante rådgiverytelser for inneklimaanlegg knyttet til prosjektering av inneklimaanlegg
- Vurdere aktuelle bruksområder for BIM i oppfyllelsen av rådgiverytelsene
- Vurdere nye områder for anvendelse av BIM utover tradisjonelle rådgiverytelser

Metode

- Søke opp forventede rådgiverytelser i prosjekteringen av inneklimaanlegg
- Litteratursøk i fagartikler om utfordringer knyttet til utveksling av data
- Selvstendige vurderinger

2.1 Avgrensning

Det er ikke lagt vekt på kvalitative eller kvantitative undersøkelser av hvilke løsninger som faktisk benyttes i bransjen per i dag.

Begrenset tilgang på programvarelisenser har gjort det lite hensiktsmessig å kartlegge hvilke funksjoner som finnes i spesifikke verktøy. Oppgaven er derfor ingen utredning av hvilke programmer som finnes og hvilke funksjoner disse har implementert, men har fokus på hvordan rammeverket av standardiserte, åpne formater legger til rette for de aktuelle bruksområdene.

Opgaven kunne vært vinklet mot generell prosjektering av bygninger eller andre spesifikke fag som er relevante for studiet, som f.eks. bygningsfysikk. Oppgaven er begrenset til å omfatte inneklimaanlegg for å begrense arbeidsmengden, men samtidig omfatte ventilasjon, varme, kjøling og automasjon. Dette er fag som har grensesnitt mot andre fag som belyses i oppgaven der dette er vesentlig for helheten.

Drivkraften i den teknologiske utviklingen er gjerne potensialet for verdiskapning og vil nødvendigvis ha konsekvenser for alle aspekter av samfunnet. Fokuset for denne oppgaven er primært det tekniske og teknologiske aspektene. Selv om disse er relevante er ikke samfunnsmessige, politiske, økonomiske, juridiske eller andre aspekter omfattet utover det som er nødvendig for helheten.

Industri 4.0 vil få konsekvenser for alle industrier. Spesifikt for byggebransjen vil den få konsekvenser for alle faser i bygningens livsløp, inkludert i planlegging, prosjektering, bygging, bruk og drift. Denne oppgaven tar for seg prosjekteringsfasen og går kun inn på de øvrige fasene der hvor dette er av relevans for prosjekteringsfasen eller for helhetsbildet. Det vil eksempelvis være naturlig å dekke forhold i driftsfasen som følger direkte av å implementere BIM i prosjekteringsfasen.

Denne oppgaven tar primært for seg forholdene i Norge, men også europeiske og internasjonale forhold der disse er relevante for norske forhold. Europa og Norge er høykostland preget av høyt kunnskapsnivå. Dette er både forutsetninger og drivkrefter for å ta i bruk ny teknologi. Europa er store på avansert fabrikkindustri med masseproduksjon av foredlede produkter. Mye av den teknologiske satsningen innenfor digitalisering i Europa er derfor rettet mot denne industrien. I denne oppgaven er forhold knyttet til denne typen industri forsøkt overført til byggeindustrien der dette er relevant.

Miljøaspektet av BIM-teknologien er ikke beskrevet spesielt.

3 Resultater

3.1 Industriens historie

Den industrielle revolusjonen startet i Storbritannia rundt midten av det 18. århundre. Revolusjonen bestod i etableringen av de industrielle prinsippene vi kjenner i dag og deles gjerne inn i flere etterfølgende faser som særpreges av markant utvikling innenfor enkelte teknologiske områder. I den første industrielle revolusjon ble produksjon av varer kraftig effektivisert ved å sentralisere og mekanisere tradisjonell håndkraft, gjerne drevet av ulike varianter av eksterne kraftkilder. Den andre industrielle revolusjonen startet mot slutten av det 19. århundre og kalles også den teknologiske revolusjon. Den fikk stor betydning for infrastruktur, kommunikasjon og logistikk med nyvinninger som jernbanen, bilen, telekommunikasjon og elektrisitet. Vitenskaper som kjemi og fysikk ble tatt i bruk for å utvikle nye materialer, produkter og produksjonsmetoder. Den tredje industrielle revolusjonen startet mot slutten av det 20. århundre og kalles gjerne den digitale revolusjonen. Denne kjennetegnes av automatisering, informasjonsteknologi og elektronikk. Digital teknologi åpnet for avansert og fleksibel automatisering, digitale redigeringsverktøy og internett åpnet nye muligheter for effektiv utveksling av ulike typer data.

I 2022 er vi inne i den fjerde industrielle revolusjonen (4IR / Industri 4.0) som kjennetegnes av avanserte digitale hjelpemidler og at alt vi omgir oss med kobles sammen for utveksling av data. Tilgang på data og rimelig tilgang på prosessering av data åpner for nye former for avansert informasjonsteknologi som allerede utkonkurrer mennesker i mange kognitive ferdigheter, spesielt innenfor gjenkjenning av mønstre og optimalisering ved hjelp av maskinlæring. Dette er disruptive teknologier som vil påvirke hvilke oppgaver som er hensiktsmessige å løse med menneskelig arbeidskraft. [1]

Industri 4.0 bidrar dermed i til å redusere menneskets rolle i industrien. Som i de tidligere industrielle revolusjonene blir utfordringen å sikre kompetanseheving at det skapes nye, meningsfulle og produktive arbeidsplasser. Dette er også kjernen i den femte industrielle revolusjonen (5IR). Pratik Gauri beskriver den femte industrielle revolusjonen som skjæringsområdet der næringslivets krav til økonomisk verdiskapning og økonomisk vekst møter humanitære hensyn. Slik de tidligere industrielle revolusjonene har vært basert på oppdagelsen av ulike energikilder knytter han den femte industrielle revolusjonen opp til Human Energy. Med dette mener han at videre verdiskapning og fremskritt må forankres i resultater som er meningsfulle og inkluderende for hele menneskeheten ved at fokuset overføres fra teknologien til mennesket. Denne tankegangen vil forhåpentligvis bidra til å løse mange samfunnsproblemer ved å sette mennesket i sentrum i utvikling av fremtidige teknologiske hjelpemidler. Fremfor å betraktes som en utgiftspost som bør erstattes av automatiserte løsninger bør mennesket betraktes som en ressurs med unike egenskaper som kreativitet, skaperkraft og vurderingsevner. Spørsmålet blir da hvordan teknologi kan bidra til å frigjøre mennesket med sine evner til å realisere sitt fulle potensial. [3]

3.2 Relevante aktører

3.2.1 Europaparlamentet og -kommisjonen

Europaparlamentet med tilknyttede institusjoner har som målsetning å støtte utviklingen i europeisk industri for å styrke konkurransevnen i møte med andre etablerte og fremvoksende markeder. Virkemidlene som benyttes er politiske vedtak på EU-nivå og finansiering av forskning, infrastruktur og andre relevante prosjekter. I sine politiske retningslinjer trekker de frem 3 hovedområder som grunnlag for en handlingsplan for å sikre gode utviklingsvilkår for digital teknologi i EU. Et hovedmål er å knytte sammen markedene innenfor EU gjennom satsningen kalt Digital Single Market som handler om å løse utfordringer som begrenser dataflyt. Aktuelle utfordringer er blant annet knyttet til eierskap, datasikkerhet og standardisering. Et annet hovedmål er å ta i bruk teknologien som allerede finnes. [3]

Joint undertakings etableres av EU og samarbeidsland for å finansiere prosjekter som er relevante for å møte målsetningene i programmet for innovasjon og utvikling. Relevante JU for denne oppgaven er Key Digital Technologies Joint Undertaking (KDT JU), tidligere kalt ECS JU.

3.2.2 European Technology Platforms (ETP)

European Technology Platforms (ETP) er samarbeidsplattformer basert på nettverk av private og offentlige industriaktører som arbeider koordinert for at forskning og innovasjon innenfor en gitt bransje skal gagne Europeisk industri. Oppgavene er å spre kunnskap, stimulere til samarbeid og adressere utfordringer innenfor forskning og innovasjon. Europakommisjonen benytter disse nettverkene som rådgivere i prosessen med å oppfylle målene i utviklingsprogrammet for forskning og innovasjon. Gjeldende program heter Horizon Europe og løper til 2027. [4]

Blant ETPer rettet mot informasjonsteknologi er AENEAS, ETP4HPC, EPoSS, Inside Industry Association og NESSI.

NBS er tilsvarende en internasjonal samarbeidsplattform som ikke er begrenset til det Europeiske markedet. NBS er rettet mot leverandører av varer og tjenester i byggebransjen.

3.2.3 Nasjonale myndigheter

Norske myndigheter ser digitalisering som et verktøy for å øke produktiviteten og kvaliteten på offentlige tjenester, konkurransekraften i privat næringsliv og å nå målet om et karbonnøytralt samfunn. Offentlige aktører som bidrar til å utvikle bruken av digital teknologi. Statsbygg er en offentlig forvaltningsbedrift som fungerer som eiendomsutvikler og byggherre i statlige byggeprosjekter. Statsbygg bidrar til å fremme bruken av digital teknologi innenfor byggeindustrien ved å stille fremtidsrettede krav til bruk av bygningsinformasjonsmodellering (BIM) i sine prosjekter. [5]

Norges forskningsråd er et offentlig forvaltningsorgan som bevilger midler med formål om å skape gode vilkår for norsk forskning. Norges forskningsråd har også en rådgivende rolle overfor myndighetene i politikk rettet mot forskning. [6]

Storbritannia har hatt en foregangsrolle i bruken av BIM og innførte minimumskrav til BIM basert på den nasjonale standarden, BS 1192, i alle offentlige byggeprosjekter fra 2016. BS 1192 danner grunnlaget for den internasjonale standarden for BIM, ISO 19650. [7]

3.2.4 Interesseorganisasjoner, bransje- og fagforeninger

Bransjeforeninger benytter sin kunnskap og innflytelse til å fremme sine medlemmers kommersielle eller idealistiske interesser ved politiske veivalg på flere nivåer, deriblant internasjonalt nivå, EU-nivå og nasjonalt nivå. Avhengig av foreningen kan medlemsbasen bestå av privatpersoner, private selskaper, organisasjoner og offentlige institusjoner.

buildingSMART International (bSI) er et eksempel på at interesseorganisasjon kan ha en sentral rolle i koordinering og utviklingen av standarder og verktøy. Foreningen har hatt en nøkkelrolle i arbeidet med å standardisere datastrukturer for datautveksling i byggebransjen og å utvikle verktøy for å realisere potensialet i BIM-teknologien.[8] BuildingSMART gikk tidligere under navnet International Alliance of Interoperability (IAI) og var opprinnelige en samarbeidsavtale stiftet for å bedre forutsetningene for informasjonsutveksling i bygg- og anleggsbransjen.

Andre bransjeforeninger som er relevante for digital teknologi i Europa er BusinessEurope og DigitalEurope. I Norge er DigitalNorway, Rådgivende ingeniørers forbund (RIF) og Entreprenørforeningen – Bygg og anlegg relevante bransjeforeninger.

Fagforeninger har også som rolle å representere arbeidstagere og deres rettigheter. Dette er et spesielt relevant aspekt i møtet med industri 5.0. Tekna og NITO er fagforeninger rettet mot tekniske fag.

3.2.5 Standardiseringsorganisasjoner

Standardiseringsorganisasjoner er medlemsbaserte og innehar rettigheter til å utgi standarder innenfor bestemte fag- og virkeområder. Medlemmenes interesser er gjennom organisasjonene å legge til rette for gode leve- og vekstvilkår innenfor sine fagfelt ved å bryte ned informasjons- og praksisbarrierer som er til hinder for samarbeid og utvikling. Standardiseringsarbeidet utføres av komiteer (K / TC) i koordinasjon med relevante myndigheter og bransjeforeninger. Et eksempel er CEN/TC 442 som arbeider med standardisering av BIM-teknologi.

Standard Norge utgir standarder innenfor de fleste virkeområder i Norge. CEN er den europeiske standardiseringsorganisasjonen hvor Standard Norge og tilsvarende organisasjoner for samtlige land i EU og flere andre europeiske land er blant medlemmene. ISO er en internasjonal standardiseringsorganisasjon uten direkte tilknytning til nasjoner. Standard Norge og CEN er medlemmer i ISO.

3.2.6 Forskningsinstitutter og akademia

Forskningsinstitutter besitter kunnskap og driver både uavhengig og oppdragsbasert forskning innenfor aktuelle fagområder. Et relevant institutt er SINTEF som driver forskningen innenfor blant annet digitale tvillinger og byggteknologi.

Akademiske institutter tilbyr studier innenfor relevante fag og er arenaer for forskning, diskusjon og kompetanseheving. NTNU har et eget forskningsområde knyttet til det grønne skiftet og digitalisering innenfor bygg og infrastruktur som går under navnet *Green shift in the built environment*. Universitetet tilbyr også utdanning på alle høyere nivåer innenfor BIM. Flere fagskoler tilbyr utdannelse som BIM-teknikker med spesialisering innenfor ulike fag.

ProsjektNorge er et institutt eid av NTNU med andre akademiske institusjoner, offentlige utbyggingsetater, og private aktører i byggebransjen som partnere. Instituttet jobber for faglig utvikling og å spre kunnskap mellom partnere. Målet er å fremme norsk konkurransekraft internasjonalt i prosjektbaserte næringer.

3.2.7 Faglige tidsskrifter, magasin og blogger

Som tidsskrifter driver faglige tidsskrifter journalistisk og redaksjonsstyrt arbeid for dekke aktuelle saker innen ulike fagområder. Byggfakta, Byggindustrien og Teknisk ukeblad er relevante tidsskrifter innenfor bygg og anleggsbransjen. BIM+ er rette spesifikt mot BIM-teknologi.

Faglige blogger kan også være rettet mot spesifikke tema, men har en friere form og har ikke nødvendigvis en redaksjon eller journalistisk vinkling.

3.2.8 System- og programvareleverandører

Kommersielle leverandører utvikler systemer og programvare for å møte behovene i bransjen. Autodesk er den største leverandøren av programvare for prosjektering og byggeplassoppfølging i byggeindustrien og er en betydelig premissgiver for utviklingen av digital teknologi i bransjen. Dassault Systems, Bentley Systems, Nemetschek og Trimble er andre relevante programvareleverandører.

Leverandører vil primært ha kommersielle interesser. Dette er en fordel så lenge dette hensynet er sammenfallende med sunn teknologisk utvikling og gode løsninger.

3.2.9 Byggherrer / brukere

Byggherren representerer eieren av bygget og vil ha ulike interesser avhengig av hensikten med bygget. Dersom bygget skal leies ut kan byggherren være interessert i å minimere investeringskostnader dersom drift likevel skal ivaretas av leietaker. Dersom byggherren selv skal stå for driften kan det være interessant å investere i løsninger og verktøy som bidrar til effektiv forvaltning, drift og vedlikehold (FDV) av bygget. Ved å skape bevissthet rundt mulighetene ved bruk av teknologi og å innføre sertifiseringsordninger som kommuniserer byggets ytelse på en tydelig og lett sammenlignbar måte

for potensielle leietakere kan det skapes insentiver for å investere i teknologi også av markedsføringsinteresse. I Norge er det offentlige en betydelig aktør i både forvaltning og disponering av bygninger og er derfor i en særskilt posisjon til å investere i og stille krav til bruk av teknologi i prosjekter og dermed bidra til å drive utviklingen.

3.2.10 Rådgiver- og konsultantselskaper

Rådgiverselskapene har kompetanse til å realisere brukerkrav, forskriftskrav og politiske vedtak i byggbare løsninger og bistår sine oppdragsgivere i byggeprosjekter med kompetanse og prosjekteringstjenester. Rådgiverselskaper er kommersielle og vil primært ha interesse av å ta i bruk teknologi som kan gi konkurransefortrinn og å engasjere seg i forskning og allmenntilgitt formål som kan gi gevinst i form av eksponering og markedsføring. Oppdragsgiver og prosjektets organisasjonsform vil ha naturlig innvirkning på hvilke løsninger som velges og hvilke ytelser som vektlegges. Med de riktige insentivene vil rådgiverselskapene i sunn konkurranse være en avgjørende bidragsytere i å utvikle og ta i bruk digital teknologi. Flere større og mindre, dedikerte rådgiverselskaper har også avdelinger med spesialisering mot implementering av digital teknologi i byggeprosjekter. Norconsult, Multiconsult og Sweco Norge er de største rådgiverselskapene i det norske bygg- og anleggsmarkedet.

3.2.11 Entreprenører

Entreprenører står for utførelsen av byggearbeidene og driver lønnsomt ved at prosjektene gjennomføres som planlagt uten forsinkelser, tverrfaglige komplikasjoner og kostbare feil. Teknologi som kan bidra til raskere og enklere produksjon på byggeplassen vil være lønnsomt. Dette gjelder blant annet prefabrikering av installasjoner som gjør monteringen på byggeplassen mer effektiv. [2]

Entreprenørene er avhengige av godt anbuds- / prisunderlag for å gi et korrekt tilbud. I utførelsen må produksjonsunderlaget være tydelig og løsningene være tverrfaglig godt koordinert og prosjektert for å oppnå god fremdrift.

Totalentreprenører står for overordnet utførelse og prosjektledelse i prosjekter og kan hente inn underentreprenører for deler av utførelsen.

3.2.12 Byggevarerleverandører

Byggevarerleverandører står for utvikling og leveranse av byggemateriale og byggrelaterte produkter. Konkurranse om å levere bedre produkter som gir mer effektiv bygging Dette gir til å drive og ta i bruk ny teknologi.

3.2.13 Communities / samfunn

Historien har vist at teknologiske fremskritt ofte starter med enkeltpersoner eller små samfunn uten tung finansiering eller organisasjoner i ryggen. Det gjelder spesielt innenfor programvare og teknologi hvor det er kultur for å diskutere idéer, dele kunnskap og bidra i dugnadsbaserte prosjekter. Dette har blant annet vært utgangspunktet for flere av BuildingSmarts prosjekter. W3C Community and Business Groups er en plattform for denne typen samhandling. Github er en plattform for samhandling i slike prosjekter og har løsninger for blant annet skybasert lagring av prosjektressurser og sporing av historikk.

3.3 Digitale tvillinger

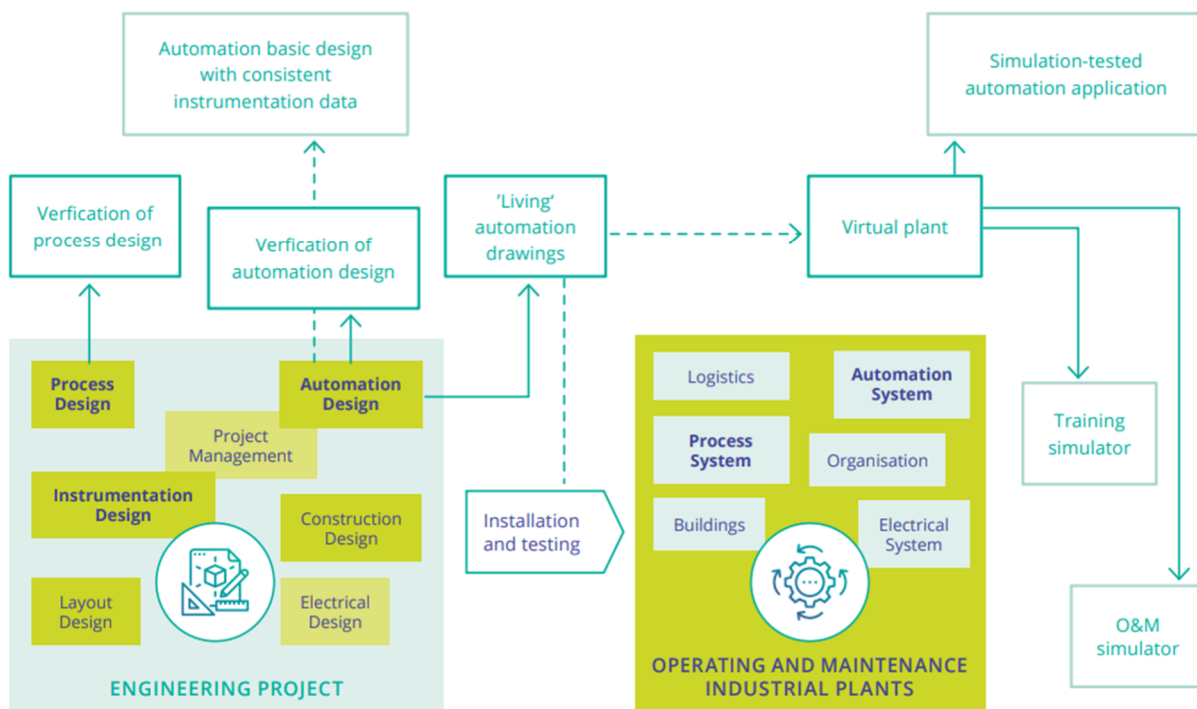
Europakommisjonen har identifisert 6 nøkkelt teknologier (KET) som er avgjørende for utviklingen av industrien i Europa og Europas konkurransekraft overfor andre etablerte og fremvoksende industriaktører.

- Avanserte materialer
- Mikro- og nanoelektronikk
- Nanoteknologi
- Fotonikk

- Industriell bioteknologi
- Avanserte produksjonsmetoder

Felles for disse teknologiene er at de er kunnskap- og kapitalkrevende. Utover disse 6 teknologiene supplerer den europeiske bransjeorganisasjonen NESSI med programvare som en syvende nøkkelteknologi, som gjerne omtales som den glemte nøkkelteknologien. Dette kan delvis skyldes at den anses som en selvfølgelighet og inngår i stort sett all annen teknologi i dag. Programvare vil imidlertid være en betydelig teknologi i seg selv. I sammenheng med European Forum for Electronic Components and Systems (EF ECS) som avholdes i samarbeid mellom AENEAS, Inside Industry Association og EPOSS blir det årlig publisert et dokument kalt ECS SIRA som skal fungere som en agenda for samordnet strategisk forskning og innovasjon innenfor utvikling av elektroniske komponenter og systemer i Europa i møte med aktuelle utfordringer og markedstrender. Her trekkes digitale tvillinger frem som en teknologi med potensiale som kan bidra til bedre forutsigbarhet og dypere forståelse for prosessene i byggebransjen. Dette gjelder spesielt i kombinasjon med standardiserte grensesnitt for utveksling av data og skyteknologi som gjør det mulig å koble sammen digitale tvillinger i større skala. [9]

Som konsept er en digital tvilling en digital abstraksjon av et fysisk eller abstrakt system. En digital tvilling kan gjøre det mulig å simulere virkeligheten og dermed identifisere potensielle forbedringer og kostbare feil før et bygg føres opp eller en prosess implementeres. [10] Figur 1 viser sentrale områder innenfor prosjektering og drift av et industrielt anlegg og eksempler på hvordan digitale tvillinger kan anvendes.



Figur 1 Bruk av digitale tvillinger i prosjektering og drift for industriformål. [8]

3.4 Bygningsinformasjonsmodellering (BIM)

Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) som begrep benyttes ulikt avhengig av blant annet prosjekt, aktør og implementasjon. I sin videste definisjon er BIM et komplett verktøy for prosjektstyring og digital produksjon, utveksling, lagring og strukturering av all informasjon knyttet til et byggverk gjennom hele dets levetid. For BIM i denne sammenhengen benyttes også begrepene Building / Project Lifecycle Management (BLM/PLM), HD BIM eller Big BIM. [7] Stanford University har introdusert begrepet Virtual Design and Construction (VDC) som inkluderer en arbeidsmetode kalt Integrated Concurrent Engineering (ICE) hvor BIM benyttes aktivt for tverrfaglig problemløsning. BIM står sentralt

i VDC og VDC kan være en representativt beskrivelse for hvordan BIM blir anvendt i mer progressive prosjekter.[11][12]

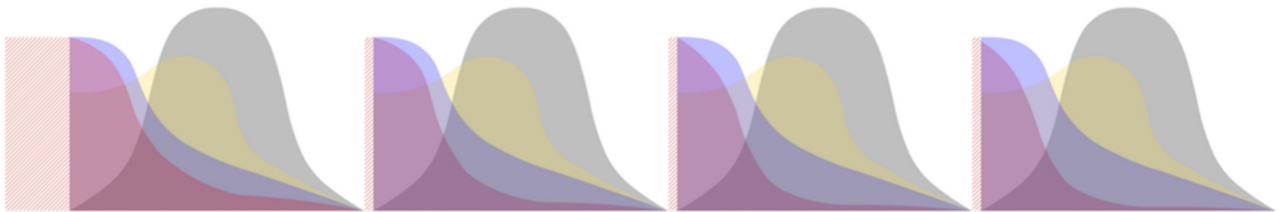
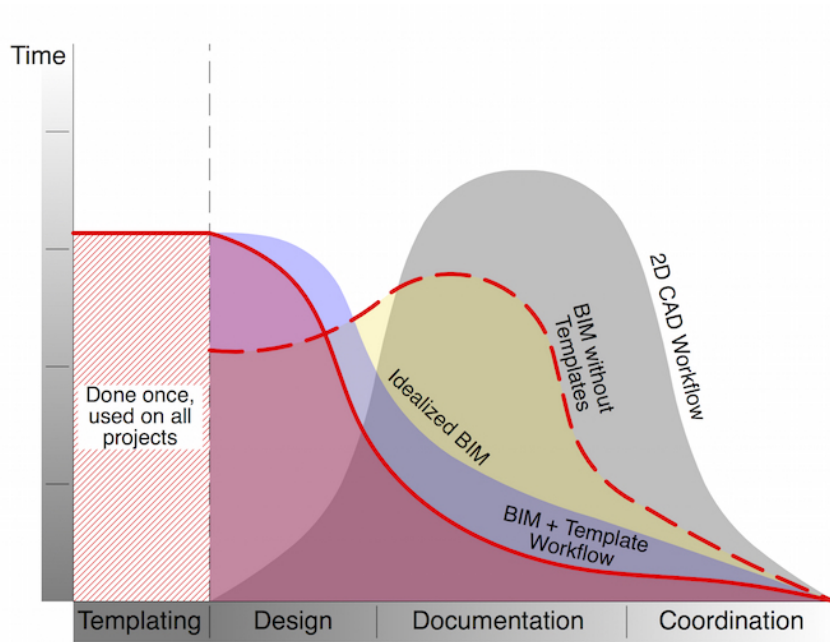
I enklere implementasjoner av BIM benyttes gjerne en snevrere definisjon av teknologien, som en datamodell som beskriver geometrien til installasjonene og gjør det mulig å visualisere bygget tredimensjonalt. Her benyttes modellen som underlag for arbeidstegninger, tverrfaglig kollisjonskontroll og enkle mengdeuttak. Dette kalles gjerne slimBIM og i denne sammenhengen får informasjon (I) begrenset betydning. Modell (M) referer hovedsakelig til 3D-modellen og ikke til en fullstendig datamodell.

En uformell beskrivelse for implementasjon av BIM går frem av figur 2. I denne oppgaven er det BIM i definisjonen social BIG Social BIM som gjelder. [13]

social	II	IV
lonely	I	III
	little	BIG

Figur 2 Matrise for klassifisering av implementasjon av BIM. [8]

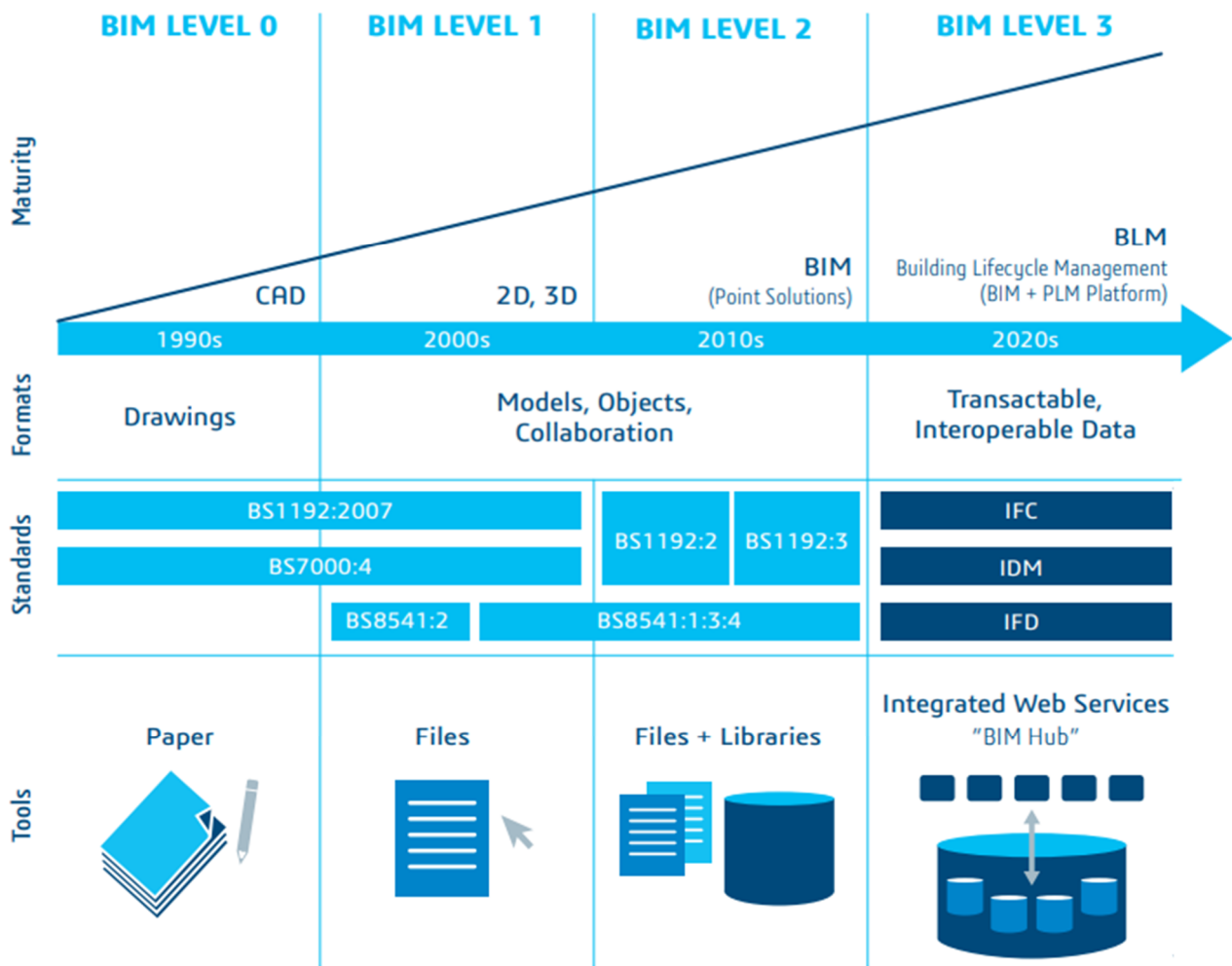
I tillegg til å øke kvaliteten på utveksling og håndtering og lagring av bygningsinformasjon er målet at BIM skal bidra til å gjøre prosjekteringen mer effektiv og forutsigbar. Figur 3 illustrerer hvordan tidsbruken i et prosjekt fordeler seg ved bruk av ulike teknologier. Ytterpunktene er visualisert av grå og rød skraver som representerer hhv. (1) tradisjonell arbeidsmetode hvor 2D-tegninger utarbeides manuelt uten en underliggende modell og (2) ideell bruk BIM med fokus på gjenbruk av arbeid. Tiden som investeres i å bygge gode maler for fremtidige prosjekter gir avkastning over tid i form av mindre tidsbruk. Ideelt vil bedre marginer i prosjektene ikke bare øke profitt, men også frigjøre tid som kan investeres i å finne frem til de best egnede og energieffektive løsningene. [14]



Figur 3 Grafisk fremstilling av hvordan tidsbruken i et prosjekt fordeler seg ved bruk av ulike teknologier. [9]

I sin artikkel fra 2008 skisserer Bilal Succar et rammeverk for BIM som prosjektverktøy hvor prosjektet omfatter byggverket fra programmering til resirkulering.[15] Rammeverket beskriver fire nivåer, maturity levels, med benevnelse BIM Level 0 til 3 slik det går frem av figur 4 hvor hvert påfølgende nivå utgjør en vesentlig endring i implementasjonen av BIM. Byggverks kretsløp deles i 4 faser: Planlegging, design, utførelse og drift. Prosesser og leveranser skjer internt eller på tvers av faser og aktører.

BIM Level 0 viser til utgangspunktet før BIM tas i bruk / Pre-BIM, uten noen datamodell som verktøy for lagring, strukturering og utveksling av bygningsinformasjon. BIM Level 1 innebærer objektbasert modellering hvor 3D-modellering tas i bruk isolert for hvert fag og er knyttet til enten projekterings-, utførelses-, driftsfase eller underliggende delfaser. Modellene benyttes primært som underlag for visualisering, generering av arbeidstegninger og eksport av ulike data uten at disse i utgangspunktet kan gjenbrukes eller utveksles i for tverrfaglig modellarbeid.

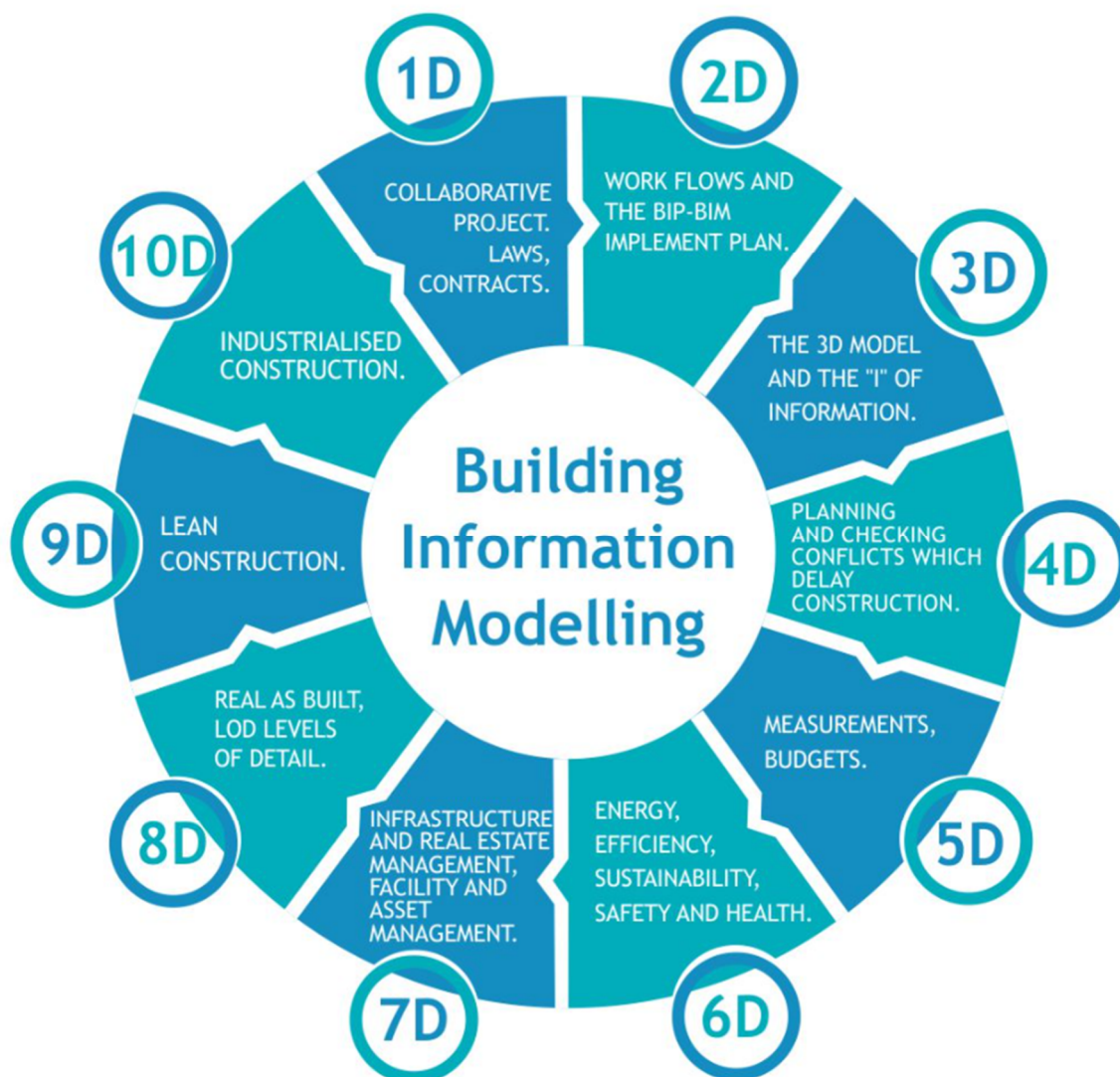


Figur 4 Oppstilling av hovedelementer i BIM Maturity Stages / BIM Level 0-3 [3]

Basert på de isolerte modellene som benyttes i BIM Level 1 ser man i BIM Level 2 potensialet for BIM som et samhandlingsverktøy ved å utveksle modeller. Data som tidligere ble eksport eller hentet ut fra modeller og utvekslet manuelt, utveksles nå direkte igjennom modellfiler, kalt modellbasert

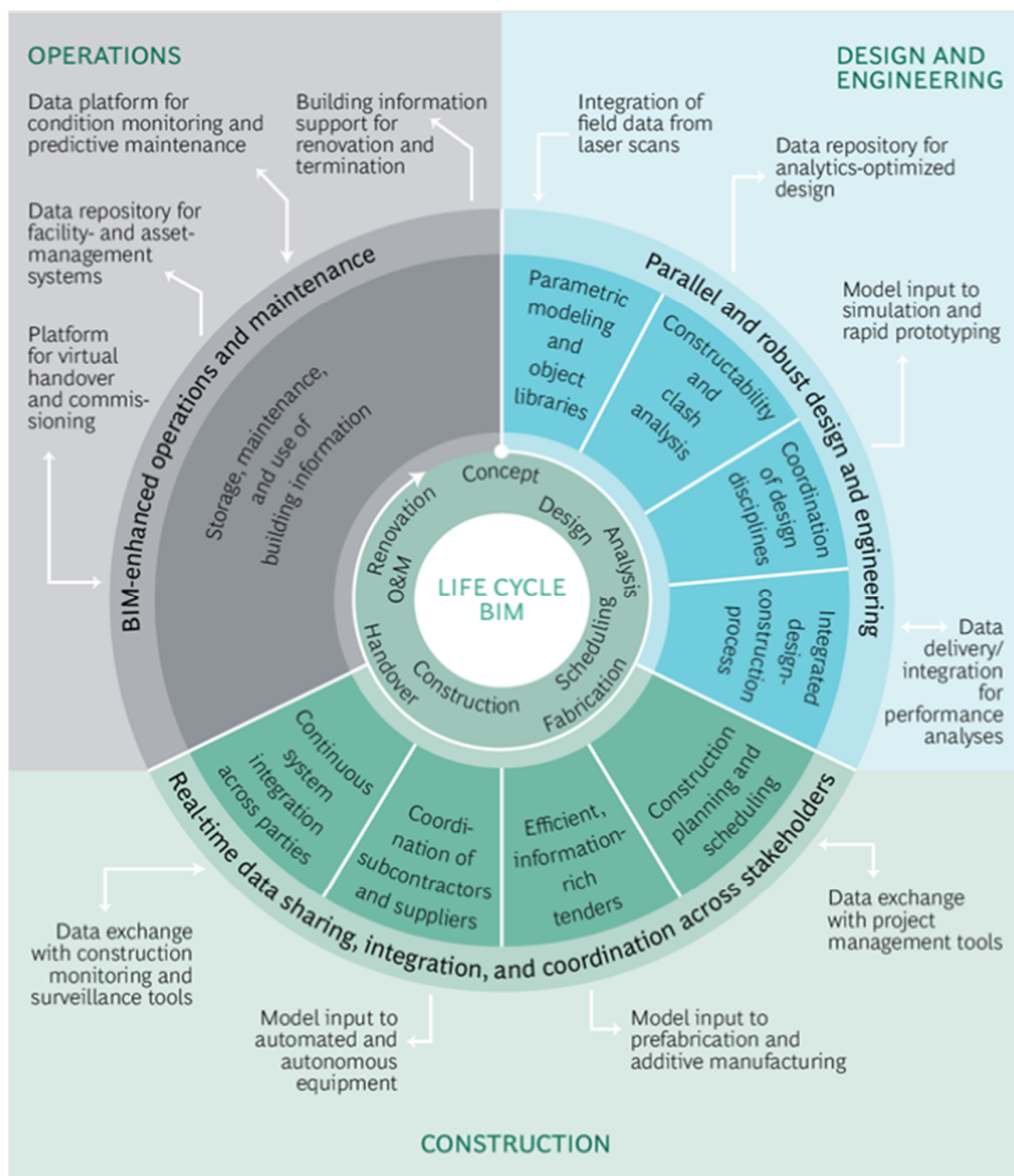
samhandling. Skillelinjene mellom fag, faser og prosjektroller blir mindre markante ved at modeller nå inngår i dokumentasjonen av prosjektet og kan utveksles tverrfaglig. Verktøy som Modelmodenhetsindekser (MMI) benyttes for å kommunisere informasjonens ferdighetsgrad for andre aktører i organisasjonen.

I BIM Level 3, kalt nettverkbasert integrasjon, vedlikeholdes en tverrfaglig, sentral modell som berikes fortløpende med endringer fra hvert fag. Sentralmodellen er ikke avgrenset til et fag, en prosjektfase eller aktør, men er en representasjon av hele bygget og fungerer som en digital tvilling. Dette åpner for at modellen kan benyttes som planleggingsverktøy, produksjonsunderlag og til tverrfaglige analyser. Begrepet Building Lifecycle Management (BLM) referer til BIM som et verktøy for oppfølging av bygningsrelatert informasjon gjennom hele bygges levetid som visualisert i figur 6 [7]. Nye aspekter eller dimensjoner av data kan implementeres i modellen som vist av oppstillingen i figur 5, gjerne kalt nD-modellering. [16]



Figur 5 Aspekter eller dimensjoner av data som kan implementeres i BIM basert på BIM Level 3. [12]

Succar benytter begrepene Integrated Project Delivery (IPD) og Post-BIM om det neste steget i utviklingen av BIM eller arvtageren til BIM som teknologi. Hvordan en IPD kommer til å fungere vil avhenge av mange faktorer. American Insitute og Architecture California Council har imidlertid beskrevet karakteristikker av hvordan de forventer at en IPD vil fungere. Oppsummert er visjonen at IPD vil være et verktøy som henter ut hele potensialet i den kompetansen som finnes i organisasjonen på tvers av tradisjonelle grensesnitt og roller. Det inkluderer at det ferdige bygget, både funksjons- og driftsmessig, samsvarer fullstendig med byggherrens forventninger og det som er blitt forespeilet. Andre stikkord som er trukket frem er effektiv beslutningsstøtte og stor grad av automatisering.



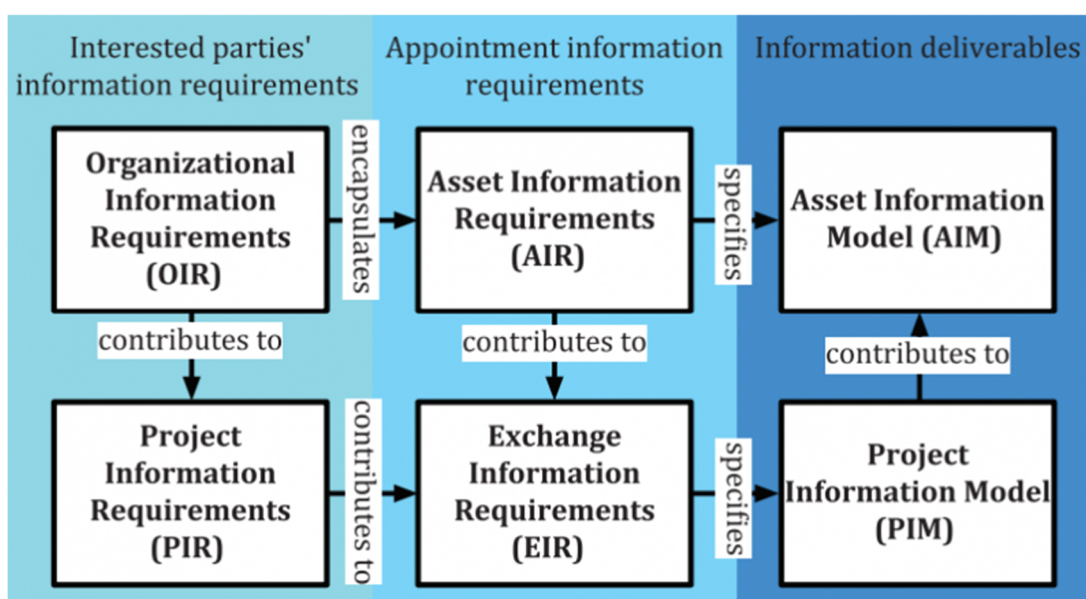
Figur 6 Bruksområder for BIM Level 3 og informasjonsflyt til og fra modellen gjennom byggets livsløp. [11]

3.5 Standarder

NBS dokumenterer i sin National BIM Report 2020 at 73 % av spurte aktører i byggebransjen benyttet BIM i sitt arbeid. [17] Hensikten og ambisjonene for bruken av BIM varierer imidlertid mellom prosjektene og gjennom prosjektet har hver aktør og fase ulike behov og interesser. For å imøtekomme disse utfordringene er den internasjonale standarden ISO 19650 utarbeidet som et verktøy for å sikre optimal informasjonsflyt knyttet til produksjon og forvaltning av bygningsinformasjon gjennom hele byggets livsløp. Standarden har tittelen «Organisering og digitalisering av informasjon om byggverk, inkludert bygningsinformasjonsmodellering (BIM) - Informasjonsforvaltning med BIM» og består av 2 deler: «Begreper og prinsipper» og «Prosjektfasen». [18]Konseptet er at filer eller Information Containers knyttes sammen i et system kalt Common Data Environment (CDE) som strukturerer data i henhold til standarden uten at standarden er knyttet til spesifikke filformater eller programvare. Hensikten er at all informasjon skal:

- Produseres én gang og gjenbrukes / refseres til i resten av prosjektet
- Være pålitelig og delt med alle relevante aktører i prosjektgruppen
- Gjennomgås og godkjennes før den publiseres til resten av prosjektgruppen
- Ha revisjonshistorikk på hvor informasjonen kommer fra, hvem som la den til og når
- Er identifiserbar med angivelse av revisjon og status

[18], [19] Standardens metode inkluderer spesifisering av organisasjonens- (OIR), prosjekts- (PIR) og informasjonsutvekslingsspesifikke (EIR) krav. Disse skal utgjøre en tydelig kontekst for prosjektet og sørge for entydig utveksling av informasjon mellom aktørene, slik at produktene som leveres er i henhold til kundens forventninger. Prosjektets informasjonsmodell (PIM) og byggverkets informasjonsmodell (AIM) utgjør innholdet i bygningsinformasjonsmodellen og utarbeides basert på de underliggende kravene beskrevet i form av OIR, PIR og EIR som vist i figur 7.



Figur 7 Illustrasjon av samspillet mellom OIR, PIR og EIR iht. ISO 19650 [17]

Alle bestemmelser knyttet til hvilken informasjon som skal inngå i BIM-modellen, på hvilken måte og prosesser knyttet til arbeidet med modellen beskrives en BIM Execution Plan (BEP). Planen beskriver også strategi og intensjon bak bestemmelsene og annen informasjon som er relevant for informasjonen som skal leveres i henhold til bestemmelsene. Hensikten er at planen skal fungere som både kontrakt og orientering for alle aktører som er involvert i arbeidet med modellen.

Tradisjonelt har BIM-modellen gjerne vært knyttet til prosjekteringsfasen av prosjektet. Basert på Succars artikkel har dette en naturlig forklaring i at gevinstene ved bruk av BIM på et lavere modenhetsnivå i stor grad ligger i prosjekteringsfasen. Det er også i kombinasjon med den tradisjonelle prosjekteringen at den nødvendige kompetansen og betalingsviljen finnes til å utarbeide en BIM med noen grad av detaljering. Gevinstene ved å implementere BIM i en tidligere fase vil etter hvert materialisere seg. Det vil også være naturlig se etter muligheter for å høste gevinst av ressursene som er lagt ned i prosjekteringsfasen i overgangen til utførelse og drift.

Det arbeides med standardisering av hvordan data skal struktureres, beskrives og utveksles. Tabell 1 oppsummerer et utvalg sentrale standarder som er utgitt av CEN og ISO i forbindelse med dette arbeidet hvor CEN/TC 442 og EU BIM Task Group og BuildingSmart har vært bidragsyttere. Standardene harmoniseres med direktivene og satsningsområdene til europakommisjonen. [20]

Standarder som utgis av ISO, CEN og Standard Norge betegnes med hhv. ISO, EN og NS. Når en tidligere utgitt standard harmoniseres og utgis under en annen standardiseringsorganisasjon tas den tidligere organisasjonsangivelsen med i navnet etter gjeldende utgivers betegnelse.

Av nevnte standarder er følgende av særlig relevans for prosjektering av inneklimateknikk. ISO 10303 og ISO 12006 omhandler standardisering av beskrivelse og utveksling av data knyttet til ulike funksjoner i bygget, inkludert system- og funksjonsbeskrivelser for tekniske anlegg. ISO 29481 er relevant for kommunikasjon av behov for informasjon knyttet til prosesser i prosjekteringen og beskrives nærmere i kapittel 3.11.

Tabell 1: Relevante standarder for BIM utover ISO 19650

Standard	Tittel
ISO 12006	Building construction - Organization of information about construction works <ul style="list-style-type: none"> - Part 2: Framework for classification of information - Part 3: Framework for object-oriented information
ISO 10303	Automation systems and integration — Product data representation and exchange <ul style="list-style-type: none"> - Environment (Gruppering) - Integrated data models (Gruppering) - Top part (Gruppering) - Part 221: Functional data and schematic representation of process plants - Part 233: Systems engineering data representation - Part 242: Application protocol: Managed model-based 3D engineering - (Andre applikasjonsspesifikke deler)
EN 17412	Building Information Modelling - Level of Information Need <ul style="list-style-type: none"> - Part 1: Concepts and principles
ISO 16739	Industry Foundation Classes (IFC) for deling av data innenfor bygg og anlegg og fasilitetsstyring <ul style="list-style-type: none"> - Part 1: Data schema
ISO 29481	Building Information Models - Information Delivery Manual <ul style="list-style-type: none"> - Part 1: Methodology and Format - Part 2: Interaction Framework
ISO 16757	Data structures for electronic product catalogues for building services <ul style="list-style-type: none"> - Part 1: Concepts, architecture and model - Part 2: Geometry
ISO 21597	Information container for linked document delivery — Exchange specification <ul style="list-style-type: none"> - Part 1: Container - Part 2: Link types
ISO 23386	Building information modelling and other digital processes used in construction — Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected data dictionaries
ISO 23387	Building information modelling (BIM) — Data templates for construction objects used in the life cycle of built assets — Concepts and principles
EN 17412	Building Information Modelling - Level of Information Need <ul style="list-style-type: none"> - Part 1: Concepts and principles

3.7 OpenBIM

OpenBIM er et begrep som beskriver BIM-teknologi basert på åpne / ikke-proprietære standarder med mål om å skape fullstendig interoperabilitet mellom aktører i systemer i prosjektet. Til forskjell fra kompatibilitet, som handler om at systemer kan fungere sammen uten at det oppstår konflikter, handler interoperabilitet om at data kan utveksles og forstås på tvers av systemene, fortrinnsvis uten behov manuelle konverteringsprosesser. Dette har fordeler som gjør at OpenBIM betraktes som veien videre for BIM-teknologi[21] [22]:

- Data, datatyper og utveksling av data er standardisert slik at det er interoperabilitet mellom alle aktører i prosjektet og det ikke oppstår komplikasjoner i tvetydige tolkninger.
- Data er ikke begrenset til én eller en begrenset gruppe systemer og verktøy, men kan utveksles fritt på tvers av programvarer og ulike leverandører. Dette skaper sunne konkurransevilkår mellom leverandører og hver aktør kan benytte verktøyene som passer best til deres behov.
- Skaper et godt rammeverk for oppstartsbedrifter som ikke trenger å bruke tid på mange ulike integrasjoner, men kan fokusere på sine kjernefunksjoner i den kritiske oppstartsfasen.
- Åpne filformater kan standardiseres i samarbeid mellom et bredt spekter av brukere for å sikre at alle hensyn blir ivaretatt fremfor å utvikles for et avgrenset formål
- Åpne filformater gjør at data er tilgjengelig i hele prosjektets livsløp uten å være prisgitt at leverandørene vedlikeholder kompatibilitet med formatet.
- Åpne filformater sørger for at man beholder tilgang og eierskap til sin egen data
- Sikrer at dataer er tilgjengelige for alle aktører slik at data ikke må dupliseres i flere informasjonsiloer
- Sikrer at eierskap til data og tildeling av tilgang styres av de riktige aktørene og ikke er prisgitt leverandøren av lagringsløsningen

Motstykket til OpenBIM er datasiloer hvor informasjon enten baseres ikke-standardiserte løsninger eller ikke lar seg utveksle mellom systemer på noen enkel og sømløs måte. Utover hensyn til fri utveksling av data blir det argumentert for at OpenBIM også må omfatte prosesser og verktøy knyttet til produksjonen av data for å unngå at det oppstår usunne konkurransevilkår og løsninger som i praksis er proprietære.

OpenBIM er i utgangspunktet ikke knyttet til gitte formater, men formatene utviklet i regi av BuildingSmart har bred oppslutning og danner et komplett grunnlag av standard-formater for OpenBIM i bygg. Figur 8 visualiserer hvordan standardisert datastruktur (IFC), informasjonsutveksling (IDM) og produktbeskrivelser (IFD /BsDD) danner en helhet som underbygger OpenBIM.



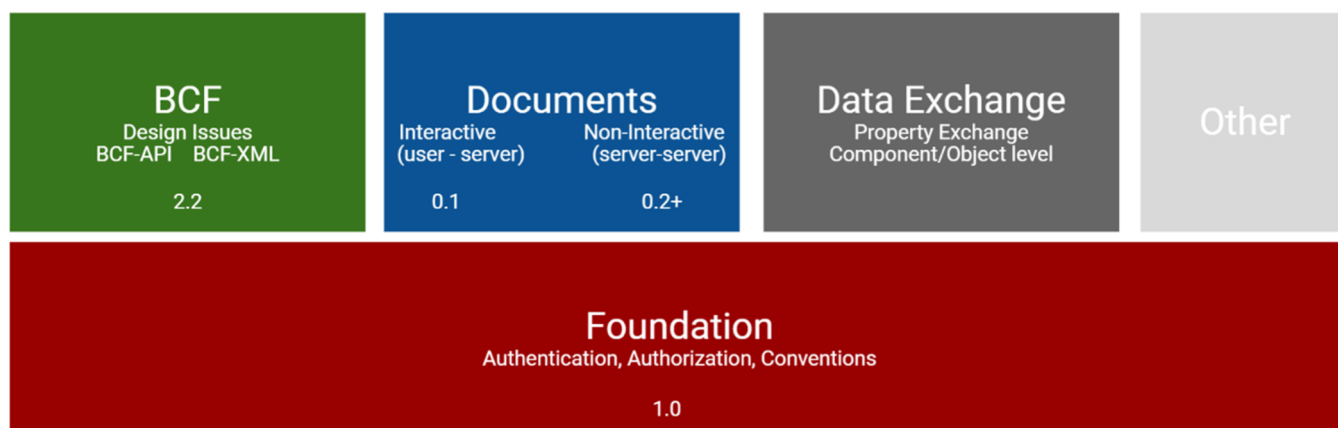
Figur 8 Grafisk fremstilling av samspillet mellom IFD (bSDD), IFC og IDM som grunnlag for å beskrive et byggverk. [17]

I møtet med ny teknologi må formatene som benyttes være skodd for fremtidens behov. På samme måte som modeller bygges sammen på tvers av disipliner og faser i overgangen fra BIM Level 2 til BIM Level 3 er det naturlig å se for seg at byggspekifikke modeller kobles sammen for å danne digitale tvillinger for infrastruktur og andre områder. I driftsfasen skal de samme formatene som benyttes i tidlig programmerings og prosjekteringsfase benyttes til å ta imot store mengder driftsdata. Utfordringen er dermed å bygge standardiserte dataformater som er allsidige og skalerbare nok til å dekke både dagens og fremtidige behov og prosjekter med varierende størrelser og ambisjonsnivåer.

3.8 OpenCDE API

OpenCDE APIer er en gruppering av flere prosjekter som skal sørge for standardisert håndtering og utveksling av data innenfor en CDE, både mellom bruker og CDE og mellom ulike CDEer, etter prinsippene i OpenBIM og ISO 19650. Målet er å erstatte filbasert utveksling av data med transaksjons- og API-baserte løsninger. Med APIer utveksles data direkte mellom systemer gjennom standardiserte grensesnitt og forespørsler (queries) uten filer som mellomledd. Hensikten med dette er å eliminere datasiloer som generer manuelle arbeidsoppgaver, hindrer fri dataflyt og forringer kvaliteten på data. [23]

Aktuelle prosjekter er vist i figur 9. Samtlige APIer bygger på en felles plattform, men har ulike hensikter.



Figur 9 Diagram av APIer som inngår i OpenCDE API basert et felles Foundation API. [19]

BCF sørger for standardisert utveksling av data knyttet til oppfølging av saker. Formatet er nærmere beskrevet i kapittel 3.9.

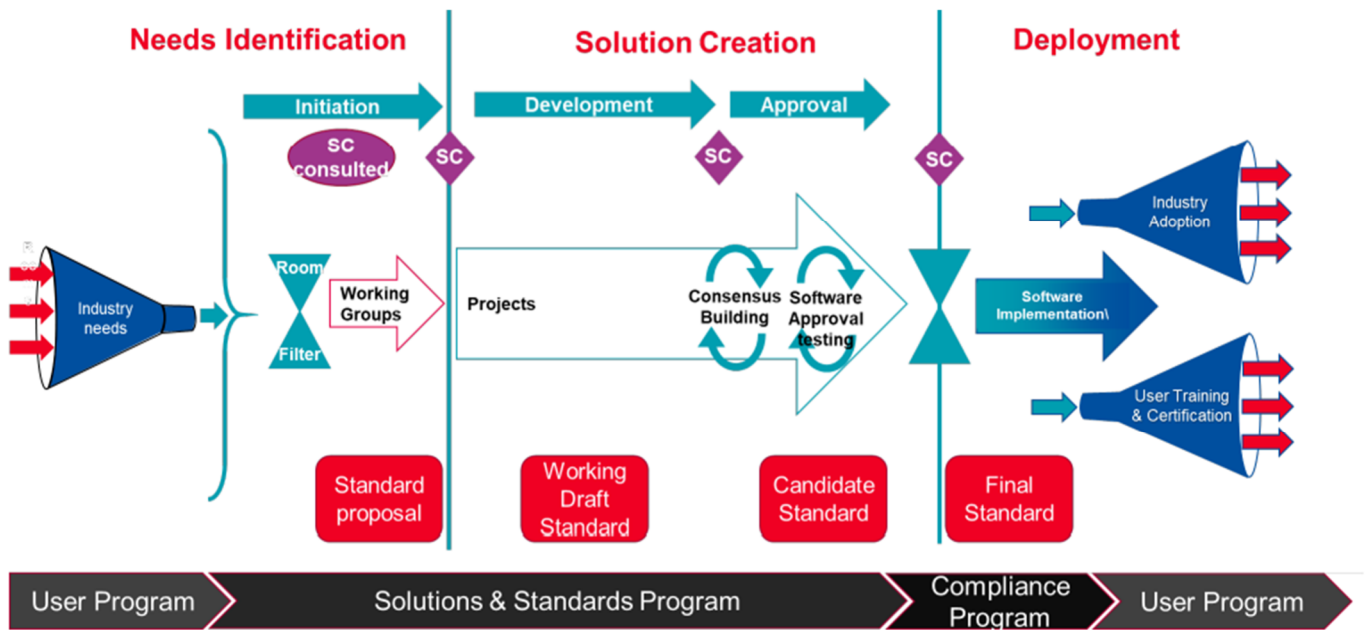
Documents sørger for standardisert håndtering og utveksling av alle typer dokumenter på tvers av CDEer og programvare som støtter standarden. Dokumenter tilknyttes metadata som gjør dem sporbare i CDEen. Ved å integrere dokumenter i CDEen kan ideelt BCF benyttes for å følge opp saker knyttet til dokumenter på samme måte som i modeller.

Data Exchange handler om utveksling av sett med data basert på forespørsler som beskrevet over.

3.9 Industry Foundation Classes (IFC)

IFC er en datastruktur (schema) utviklet basert på ISO 10303 i regi av BuildingSmart International for å beskrive byggverk og er standardisert med sin egen standard, ISO 16739. Formatet spiller en sentral rolle i BuildingsSMARTs arbeid med å bygge ned informasjonssiloer som er til hinder for fri utveksling av bygningsinformasjon. Målet er å skape fullstendig semantisk interoperabilitet mellom aktører og systemer i et prosjekt hvilket innebærer at både datastrukturen er lesbar og at strukturert data er entydig forståelig basert på relevante standarder i OpenBIM. [24]

Utviklingen av datastrukturen drives av BuildingSmarts medlemmer (Chapters) som representerer ulike interesser og er organisert i styringskomiteer med ulike arbeidsområder (Rooms). Nye funksjoner og forbedringer implementeres i trinn med begrenset omfang i henhold til «The BuildingSMART (bSI) Process» som skal sikre at utviklingen er gjennomtenkt og forutsigbar.

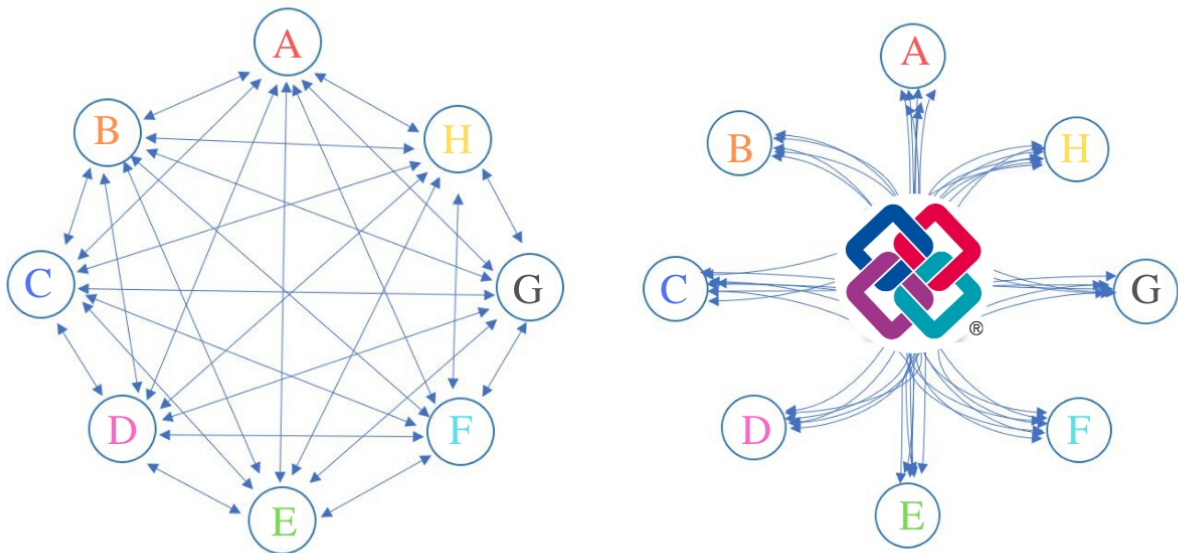


Figur 10 buildingSMART Process for utvikling av standarder. [19]

Prosessen er vist grafisk i figur 10. Denne arbeidsmetoden setter imidlertid begrensninger på hvor raskt formatet kan utvikles og komiteene må vurdere hvilke funksjoner som skal prioriteres. Metoden som benyttes i prioriteringen baserer seg på brukstilfeller (Use cases), deres nytteverdi og hvor komplekse de er å implementere. Hensikten er å «høste lavthengede frukter» i betydningen at man prioriterer tiltak som gir relativt størst gevinst for innsatsen som investeres. [25] [26].

I overgangen til BIM Level 3 benyttes gjerne begrepet sirkulær BIM der bygningsinformasjonsmodellen følger bygget som en digital tvilling gjennom hele byggets levetid. For å unngå datasiloer hvor data isoleres innenfor enkelte aktører, faser eller systemer kreves standardiserte og åpne format for struktureringen og lagring av bygningsinformasjonen som kan håndtere alle relevante brukstilfeller. IFC kan representeres med ulike strukturer. Noen av strukturene er EXPRESS, XSD og ifcOWL som har ulike fordeler og ulemper. IfcOWL er eksempelvis en representasjon som egner seg for å koble sammen data på tvers av systemer i webbaserte løsninger.

IFC ble opprinnelig utviklet for filbasert utveksling av modeller mellom aktører. Overgangen mellom BIM Level 2 og BIM Level 3 er fremstilt i figur 11 [27] og innebærer en mer dynamisk utveksling av data fremfor periodisk overlevering av hele modellfiler. Data tilhører ikke lenger en spesifikk fil, men inngår i en datamodell og kan hentes ut gjennom forespørsler basert på standardiserte programvaregrensesnitt (API). For at IFC skal fungere for utveksling av data i slik API-basert datautveksling må formatet kunne håndtere løpende utveksling av mindre transaksjoner av data.



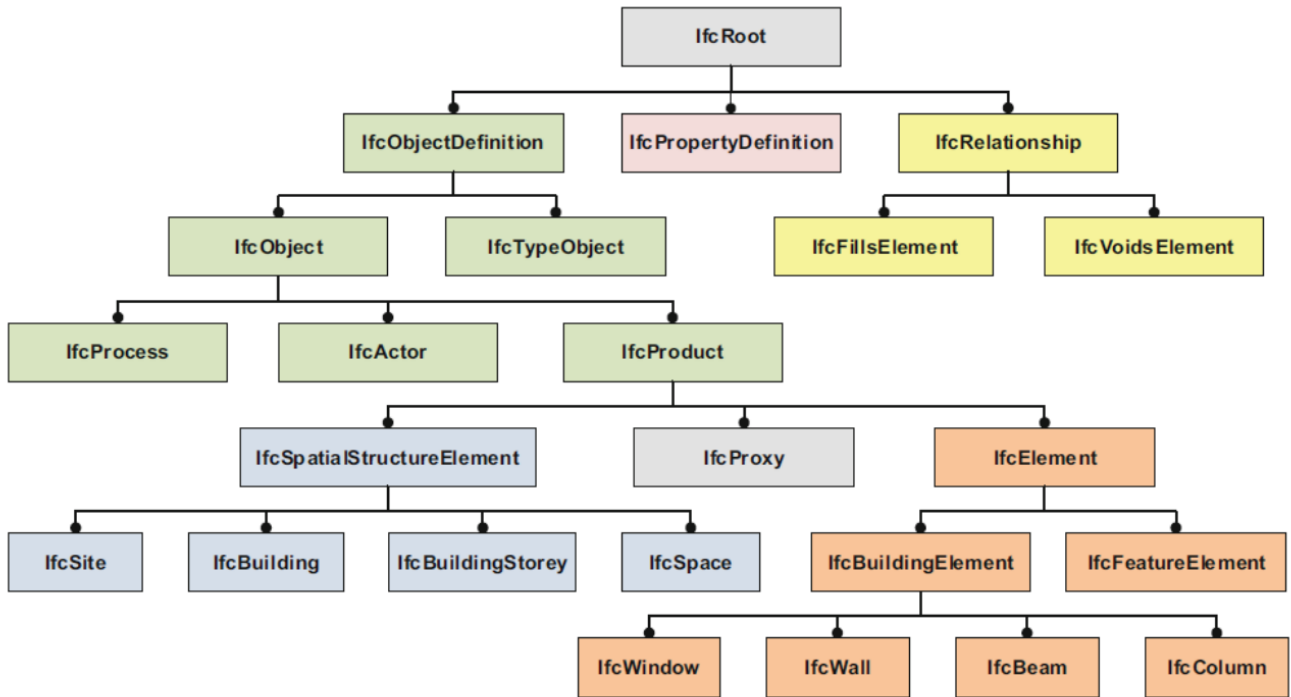
Figur 11 Prinsippet bak utveksling av modeller (til venstre) og sentralmodell (til høyre) [28]

IFC-formatet er hierarkisk objekt basert og har en standardisert sett med entiteter (classes) for å fullstendig kunne beskrive både abstrakte og fysiske objekter som finnes i et byggverk. IFC består av 3 hovedgrupper av definisjoner som har ulike oppgaver. Alle entiteter arver egenskaper fra IfcRoot, som har et sett av grunnleggende egenskaper, deriblant identifikasjon som gjør at en entitet i praksis er unikt identifiserbar globalt på tvers alle modellfiler. En entitet arver generelt egenskapene til entitet den stammer fra og som ligger over i hierarkiet som vist i figur 12. Entitet som arver kalles en spesialisering av entitet den arver fra. [29] [30]

IfcObjectDefinition beskriver fysiske eller abstrakte objekter. Fysiske objekter kan plasseres i modellen og inkluderer eksempelvis dører og vinduer, men også rom og referanselinjer. Abstrakte objekter inkluderer eksempelvis arbeidsoppgaver, aktører i prosjektet, systemer eller prosesser. [31]

IfcPropertyDefinition beskriver egenskaper knyttet til objekter. Egenskaper inkluderer eksempelvis materialer og geometri. [32]

IfcRelationship beskriver relasjoner mellom entiteter. Dette inkluderer tilhørighet mellom objekter og egenskaper eller relasjoner mellom objekter. [33]

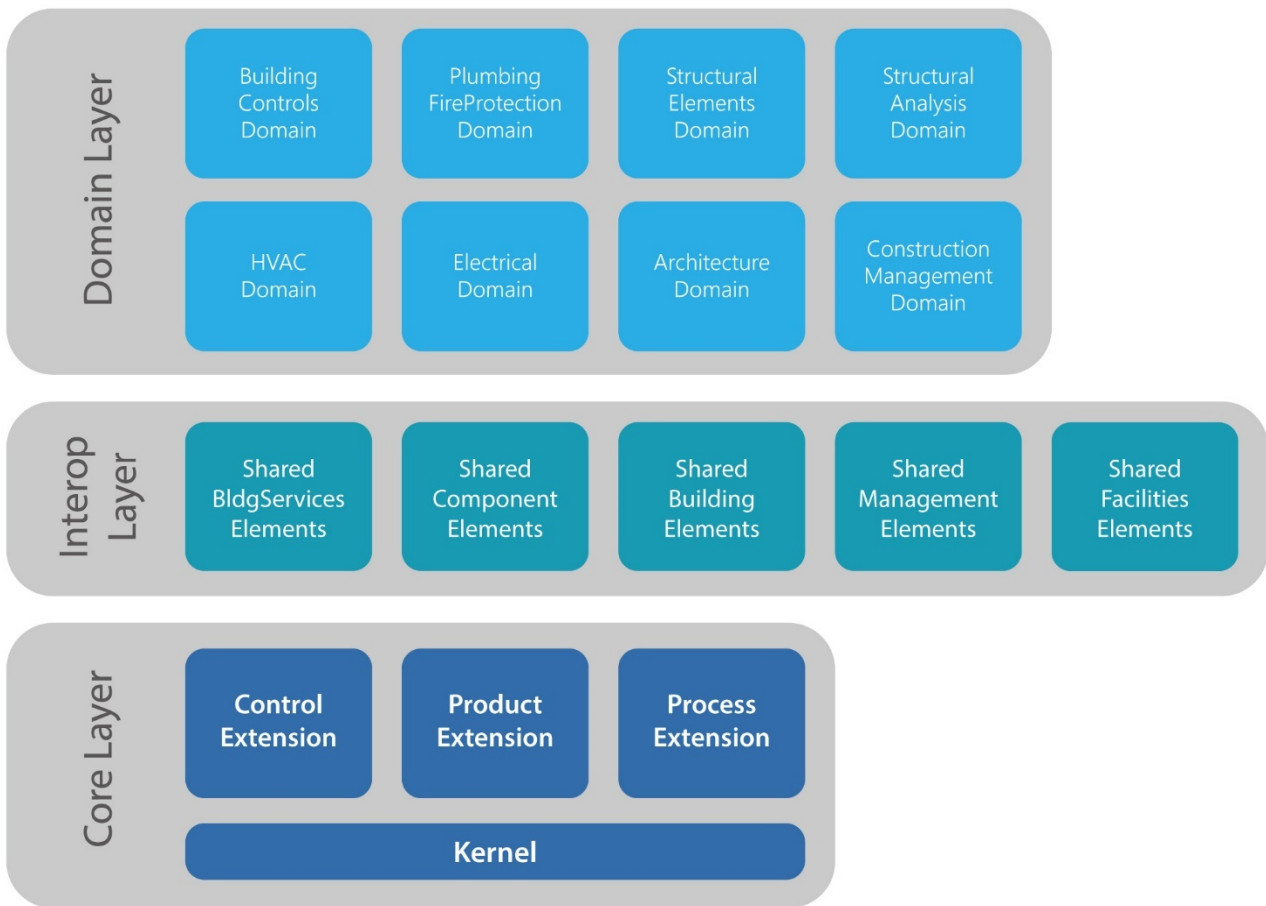


Figur 12 Trevisning av den hierarkiske oppbygningen av IFC. [34]

Spesialisering av de ulike objekttypene kan deles inn lag som er visualisert av grå markeringer i figur 13 [35]. Core, Interoperational (Interop) og Domain representerer økende spesialisering i angitt rekkefølge.

Domenelaget inneholder objektdefinisjoner knyttet til spesifikke fagområder. Eksempelvis inneholder domenet IfcHvacDomain definisjoner av typiske komponenter i ventilasjonsanlegg. Core-laget inneholder definisjoner for å beskrive grunnleggende entiteter med alle relevante parametere basert på beskrivelse og sammenkobling av objekter, egenskaper og relasjoner, som beskrevet tidligere.

Resource-laget er representert en egen type objekter som kan forklares som byggematerialer eller egenskapstyper. Disse definisjonene er ikke spesialiseringer av IfcRoot og utgjør dermed ikke unike entiteter, men kan gjenbrukes av de øvrige objektene. Innholdet i resource-laget er vist i figur 14. [35]



Figur 13 Lagvis inndeling av objektdefinisjoner i IFC. [26]



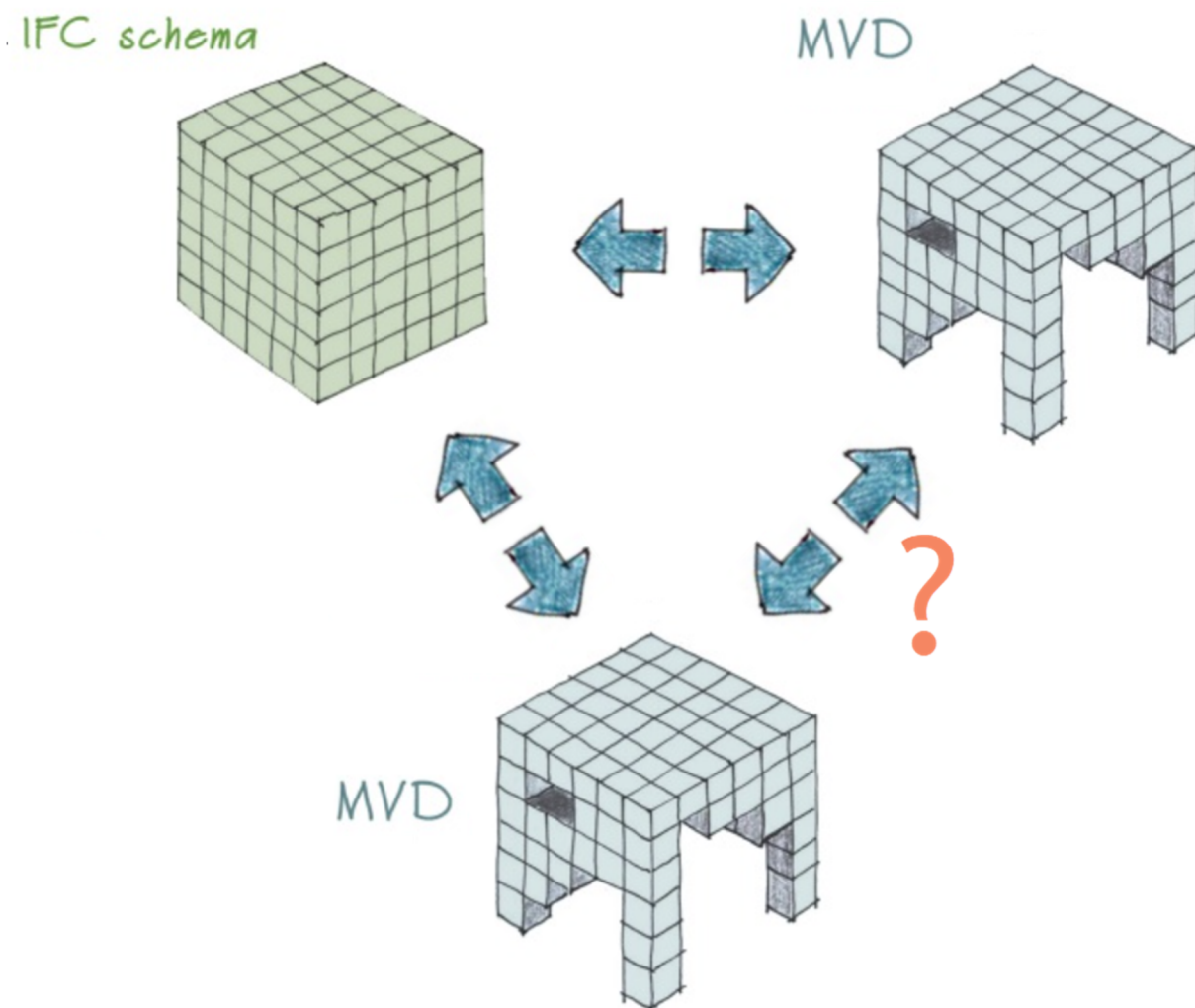
Figur 14 Oppstilling av innhold i ressurslaget i IFC-definisjon. [26]

3.10 BIM Collaboration Format (BCF)

BCF er et format for å håndtere og koordinere modellbaserte saker på tvers av aktører i et prosjekt. Formatet brukes til å identifisere, beskrive og dokumentere korrespondanse og vurderinger knyttet til saken. En BCF knyttes til en spesifikk IFC-modell hvor saker knyttes til relevante objekter i modellen for å visualisere problemstillingen og sikre entydig kommunikasjon mellom aktørene. Selv om BCF er knyttet til en spesifikk datamodell representert av en IFC kan BCF-filen bearbejdes og utveksles helt uavhengig av den tilhørende IFC-filen. [36]

3.11 Model View Definition (MVD)

På BIM Level 3 vil BIM-modellene være så omfattende at det ikke vil være hensiktsmessig å forholde seg til sentralmodellen i alle brukstilfeller og det vil være nødvendig å filtrere ut data som er relevant for det spesifikke brukstilfellet. Model View Definitions er et format utviklet av BuildingSMART for å spesifisere et avgrenset sett med data i en IFC-modell som så kan hentes ut med andre systemer. Prinsippet er visualisert i figur 15.



Figur 15 Prinsippet bak utveksling av MVD og problemstilling knyttet til interoperabilitet mellom MVDer. [37]
{Citation}

MVD er under kontinuerlig utvikling og BuildingSMART har publisert et antall standardiserte MVDer. MVD kan ha følgende bruksområder.

- Statsbygg benytter MVD til å validere innhold i og struktur i IFC-modeller i henhold til sine egne kravsett ved utveksling av modeller i sine prosjekter. Krav til BIM-modellene er beskrevet i SIMBA.
- Til å validere IFC-modeller til bruk i ulike brukstilfeller og programvare.
- Filtrere ut data som er nødvendig for koordinering av installasjoner innenfor og på tvers av disipliner.
- Filtrere ut modelldata relevant for analyser. F.eks. Building Energy Model (BEM) som kan benyttes for energirelaterte simuleringer.
- Filtrere ut modelldata relevant for mengdeuttak.
- Filtrere ut modelldata i overgangen mellom prosjektfaser. F.eks. fra bygging til driftsfase (FDV) etter CoBIE-standard.

Det er også mulig å utvikle egne MVDer og IfcDoc er et verktøy som er utviklet til formålet. Det er imidlertid usikkert om dette er en hensiktsmessig bruk av MVD. En MVD spesifiserer egne krav til innholdet utover de generelle kravene som gjelder for IFC. Dette gjør at IFCer hvor MVDer er benyttet ikke nødvendigvis er interoperable som bryter med prinsippene i OpenBIM. [23]

3.12 Information Delivery Manual / Specification (IDM / IDS)

Hensikten med IDM er å sørge for at den nødvendige informasjonen er tilgjengelig på riktig måte og til riktig tid slik at alle aktører kan gjennomføre prosessene som er planlagt i prosjekteringen. Dette forutsetter at aktørenes behov for informasjon knyttet til aktuelle prosesser er gjort kjent og at forventningene til informasjon og detaljering samstemmer med forutsetningene til aktørene som skal fremskaffe informasjonen. Det må også avklares hvordan den aktuelle informasjonen implementeres i IFC-strukturen. [23] [38]

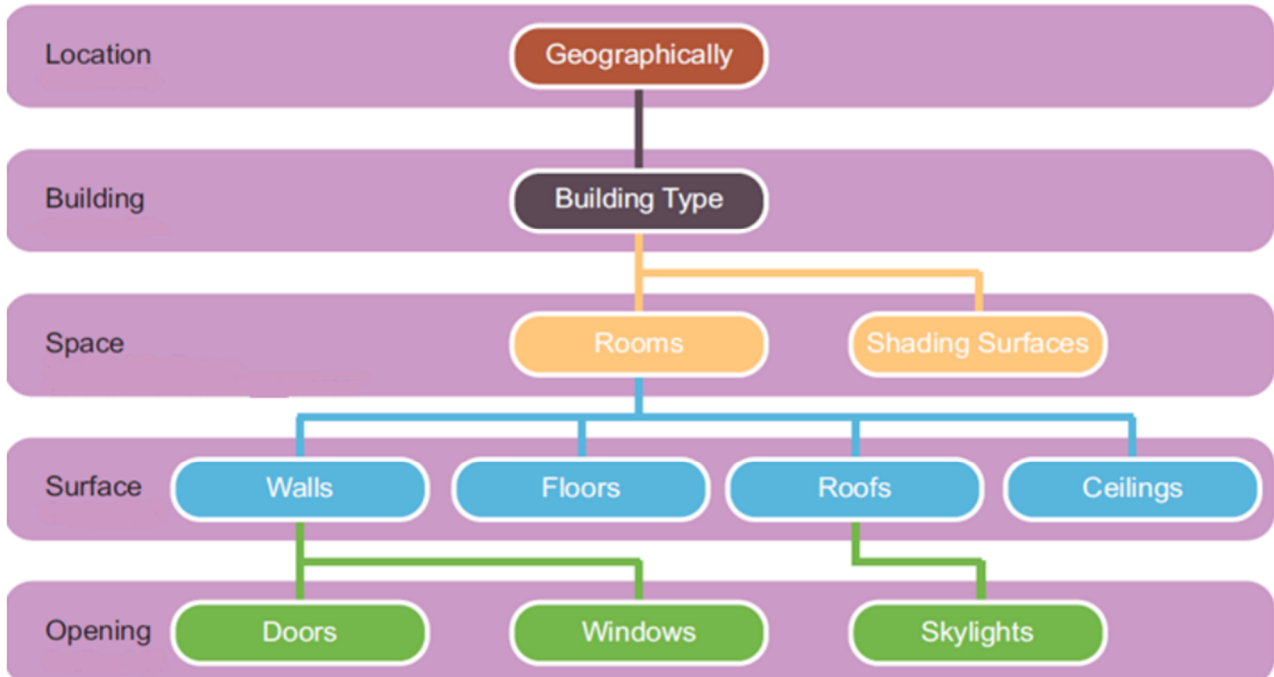
En IDS er en maskinlesbar versjon av kravene til informasjon som går frem av prosjektets IDM og kan brukes til automatisert validering av en IFC-basert datamodell for å sikre at informasjonen i modellen er i henhold til kravene. Denne løsningen benyttes SIMBA som er BIM-manualen for prosjektene til Statsbygg. [39]

3.13 BuildingSmart Data Dictionary (BsDD)

BsDD baserer seg på ISO 12006 og er et oppslagsverk som har til hensikt å standardisere beskrivelsen av bygningsdeler og hvilke begreper som benyttes i byggebransjen på tvers av aktører, prosjekter og språk. BsDD definerer hvordan produkter skal beskrives, inkludert egenskaper som skal benyttes. Ved at data beskrives på en standardisert måte er målet å unngå at data går tapt eller feiltolkes i utveksling mellom aktører og prosjekter. BsDD var tidligere kjent som International Framework of Dictionaries (IFD) [40]

3.14 Green Building XML (gbXML)

gbXML er et format utviklet for å utveksle bygningsinformasjon mellom programvare for analyseformål knyttet til energi, kjent som Building Energi Modelling (BEM) og Building Performance Simulation (BPS). Formatet følger strukturen som er visualisert i figur 16 og legger vekt på presis geometrisk beskrivelse av byggverket. Alle elementer beskrives med overflate og volum som åpner for både statiske og dynamiske analyser. [41]



Figur 16 Trevisning av hierarkisk oppbygning av gbXML. [28]

3.15 Alternative modellformater

Selv om ISO 19650 ikke favoriserer noen spesifikk modellformater har formatene utviklet av BuildingSMART bred oppslutning og en dominerende posisjon innenfor BIM i bygg. Det finnes likevel noen alternativer.

Dotbim og BIMXML er minimalistiske format basert på geometribeskrivelse og mulighet for tilknytning av data. Formatene er generiske og fleksible for utvidelser, men er ment som et alternativ for mindre prosjekt med lavere detaljeringsnivå og enklere prosesser. [42] [43] Disse formatene er per nå ikke egnet som et alternativ til IFC i fullskala-implementasjon av BIM som er konteksten i denne oppgaven.

Andre formater er rettet mot spesifikke formål eller andre anleggstyper enn bygg. Eksempler på slike formater er SOSI, KOF, GML, DMI, LAS, GIS osv. Disse anses ikke som relevante for oppgaven. [44]

Revit er et tverrfaglig prosjekteringsverktøy som er foretrukket av mange disipliner. Formatet er imidlertid proprietært og eid av Autodesk. Dette og andre proprietære formater kan ikke regnes som standardiserte utvekslingsformater i henhold til OpenBIM og anses derfor ikke som relevante for oppgaven.

3.16 Inneklimaanslegg

[45] [46] Inneklimaanslegg i boliger og publikumsbygg skal sikre tilfredsstillende inneklima for brukerne av bygget. Dette innebærer regulering av en rekke parametere som har betydning for det termiske og atmosfæriske miljøet. I drift må installasjonene også ivareta hensynet til det akustiske miljøet.

Tilfredsstillende termiske innesklima handler om å regulere varme- og kjølelastene og avgivelsen av disse for å oppnå en opplevd / operativ temperatur som oppleves som komfortabel. Den operative temperaturen avhenger av følgende faktorer.

- Strømningshastighet og temperatur på luftstrømmer
- Vertikal temperaturgradient i oppholdssonen
- Temperaturforskjeller mellom overflater i rommet
- Eksponering for solstråling gjennom vinduer eller åpninger
- Fuktighet

Løsninger for romoppvarming og -kjøling baserer seg normalt på varmeovergang i kombinasjon av konveksjon og stråling. Fordamping og kondensering av vann har også innvirkning på det termiske miljøet. Følgende er prinsipper for romoppvarming.

- Direkte oppvarming / nedkjøling av luft. Luftstrømmen kan være tilluft fra ventilasjonsanlegg, sirkulert romluft eller en kombinasjon av disse. Dette gir tilnærmet fullstendig konvektiv oppvarming. Dette prinsippet benyttes ved bruk av eksempelvis kanalmonterte batterier, batterier i aggregat, viftekonvektorer i rommet eller bafler med eller uten tilkobling til tilluft.
- Varme / kalde overflater i rommet. Overflatene kan være et mindre areal med høy temperaturdifferanse til rommet eller større overflater med lavere temperaturdifferanse til rommet. Dette gir enten fullstendig strålingsbasert varmeavgivelse eller en kombinasjon med konvektiv varmeovergang. Dette prinsippet benyttes ved bruk av eksempelvis radiatorer eller innbygde rør i gulv, tak eller vegger.
- Tilførsel av tørr luft. Kan øke fordampingen av vann i rommet dersom luftfuktigheten på tilført luft er lavere enn den i rommet. Fordampning vil redusere lufttemperaturen og kan benyttes for nedkjøling. Denne løsningen krever at luften avfuktes ved hjelp av adsorpsjonsavfukter eller nedkjøling under duggpunktstemperatur.
- Tilførsel av fuktighet. Luftfuktigheten kan økes ved å tilføre forstøvet vann til luften som fordamper og kjøler luften ned. Avkjølt luft veksles mot ubefuktet luft for at ikke fuktigheten skal tilføres i bygget. Denne løsningen benyttes typisk ved sentral kjøling i ventilasjonsaggregat og kalles gjerne adiabatisk kjøling.

Generelt vil hvorvidt den operative temperaturen oppleves som behagelig avhenge av differansen mellom overflatetemperaturer og lufttemperatur som bør være så lav som mulig. I oppholdssonen bør temperaturen være høyest ved gulvet og lufthastigheten bør være så lav som mulig for at man ikke skal oppleve trekk.

Hvilke temperaturnivå som oppleves som behagelig vil avhenge av aktivitetsnivå og bekledding. I tillegg vil individuelle preferanser variere. Erfaringstall på hvilke temperaturnivåer som oppleves som behagelige med utgangspunkt i gitte aktivitetsnivåer og bekledding er dokumentert i NS-EN ISO 7730. Dimensjoneringsparametere går frem av NS-EN 16798.

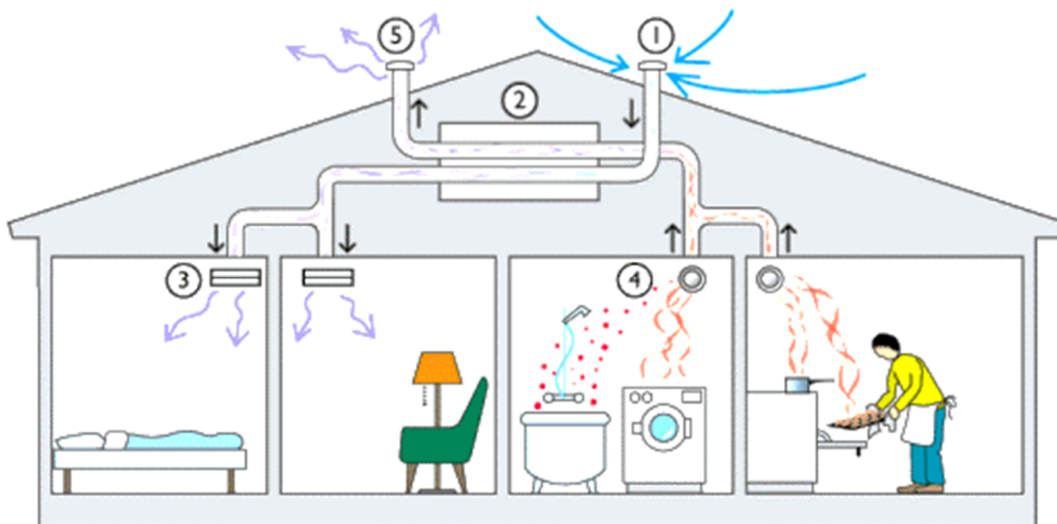
En løsning for distribusjon av varme- og kjøling er å benytte et lukket vannbårent 2-rørsanlegg hvor vann benyttes som energibærer og sirkuleres i det lukkede anlegget ved hjelp av pumper. Slike anlegg fungerer typisk ved at én eller flere varme- eller kjølekilder plasseres sentralt i et teknisk rom. I et varmeanlegg vil vannet varmes opp og sirkuleres frem til varmeavgiverene i anlegget hvor differansetemperaturen mellom vannet og omgivelsene sørger for at varmen avgis. Det avkjølte vannet sirkuleres deretter tilbake til varmekilden og varmes opp før det går ut på anlegget igjen.

Tilfredsstillende atmosfærisk innesklima handler om å begrense forurensninger i inneluften og holde luftfuktigheten på et nivå som gjør at luftkvaliteten oppleves som god og ikke har negative innvirkning på helsen. Dette løses ved å skifte ut inneluften med friskluft i et omfang som enten holder den gjennomsnittlige luftkvaliteten på et tilfredsstillende nivå eller skifter ut den forurensede luften i oppholdssonen med friskluft.

Typisk forurensning av inneluften når bygningen er i bruk er karbondioksid og fuktighet fra respirasjon, emisjoner fra materialer, lukt fra ulike kilder og forurensninger fra prosesser i rommet. Rommet må også tilføres tilstrekkelig med oksygen og luftfuktigheten må holdes over et minimumsnivå. Dimensjonerende hensyn og fastsettelse av disse vil variere med virksomheten bygget benyttes til og reguleres av forskrifts- og eventuelle brukerkrav. Dimensjoneringsparametere går frem av NS-EN 16798.

Ventilasjon kan løses med et sentralt plassert ventilasjonsaggregatet som på den ene siden er tilkoblet separate kanalnett for å hhv. distribuere friskluft og trekke av forurenset luft. På den andre siden av aggregatet tilkobles separate kanalnett for å hhv. hente friskluft fra utsiden av bygget og for å dumpe forurenset luft som vist i figur 17. Aggregatet inneholder vifter, batterier, filtre, avfuktere og annet utstyr for å regulere luftmengde, luftkvalitet og lufttemperatur på en energieffektiv måte. Ventilasjonsanlegget kan benyttes utelukkende til å ivareta atmosfærisk inneklime eller kombineres med varmekjøledistribusjon.

Løsningene som er nevnt over er eksempler for å illustrere omfanget av installasjoner i et typisk inneklimeanlegg. Alternative løsninger for ventilering inkluderer naturlig ventilasjon uten kanalnett og luftstrømmer induisert av mekaniske vifter. Alternative løsninger for klimatisering inkluderer lokal oppvarming basert på direktevirkende elektrisk oppvarming eller luft-til-luftbaserte varmepumper.



Figur 17 Prinsipp for mekaniske ventilasjon gjennom aggregat. [31]

3.17 Prosjektering

Prosjektering av bygg utføres typisk av rådgivende ingeniører engasjert innenfor alle fag som er relevante for prosjektet. Rådgivende Ingeniørers Forbund (RIF) har utarbeidet en veileder for hvilke ytelser de enkelte fagene skal yte i et prosjekt. Tanken er at veilederen skal danne et felles utgangspunkt ved konkurranse og bestemmelse av leveransegrensesnitt mellom fagene. I denne oppgaven er veilederen som gjelder for Rådgivende ingeniør VVS (RIV) benyttet som en referanse for hvilke oppgaver som inngår i prosjekteringen av et inneklimateanlegg. [47] Veilederen beskriver ytelser i prosjekteringsfasen, som kan inndeles i programmeringsfase, skisseprosjekt, forprosjekt og detaljprosjekt. Følgende bygningsdeler er medtatt.

- 30 Generelt
- 32 Varme
- 36 Luftbehandling
- 37 Komfortkjøling

Hensikten med programmeringsfasen er å kartlegge og dokumentere brukerens forventninger og krav til bygget. Programmeringsfasen resulterer i et romfunksjonsprogram som beskriver hvilke rom, funksjoner og utstyr bygget skal ha. RIV sin rolle er i denne fasen å estimere plassbehov til tekniske installasjoner og kartlegge muligheter og krav til tilknytning til infrastruktur. For inneklimateanlegg vil dette hovedsakelig gjelde tilknytning til fjernvarme. RIV bør også gi innspill til BIM-strategien i prosjektet. Detaljeringsnivå og prosesser må imøtekomme behovene for informasjon senere i prosjekteringen og avstemmes med forventningsnivået til de ulike aktørene i prosjektet som beskrevet i kapittel 3.11. [48]

I skisseprosjektet skal det avklares hvilke løsninger man går videre med. RIV sin rolle er å rådgi byggherren i hvilke løsninger som er aktuelle og beskrive relevante fordeler og ulemper med de ulike løsningene på en balansert og lettforståelig måte. Fasen skal resultere i et beslutningsgrunnlag som overleveres aktuelle beslutningstakere. Konsekvenser av de ulike løsningene må koordineres med de relevante aktørene i prosjektet. Dette innebærer blant annet å kartlegge plassbehov til installasjoner og føringsveier for rør og kanaler som kan påvirke frihøyder og plass til øvrige installasjoner. Vekt på utstyr vil ha betydning for konstruksjonen. Aggregater og annet utstyr kan ha betydning for akustikk med valg av materialer og utløse behov for isolering. Behov for solavskjerming vil ha betydning for estetikken til bygget.

I forprosjektet skal det utarbeides et underlag som beskriver avklaringene og løsningene som er valgt i skisseprosjektet og gjøres tverrfaglige vurderinger og koordinering som skal danne et godt grunnlag for detaljeringsfasen. Behov for sjakter, kulverter i grunnen og øvrige føringsveier kommuniseres og ivaretas. Systemløsninger, systemparametere og reguleringsprinsipper for de tekniske anleggene avklares. Beregninger av varme- og kjøleeffekter, energibehov og luftmengder oppdateres iht. valgte løsninger. Dimensjonering av komponenter og leveranseansvar for disse avklares og hovedledningsnett dimensjoneres.

I detaljprosjektet skal prinsippene fra forprosjektet detaljeres til ferdig produksjonsunderlag som kan benyttes av utførende. Vurderinger som er gjort i tidligere faser verifiseres i samarbeid med øvrige fag.

For de øvrige fasene oppfordrer RIF-veilederen til å avtale prosjektspesifikke ytelser. Ideelt vil produksjonsunderlaget som overleveres i detaljeringsfasen være så entydig og fullstendig at det ikke er behov for ytterligere oppfølging for å kunne utføre byggingen.

Produksjonsunderlaget er en anvisning av hvordan byggearbeidene skal utføres består og tradisjonelt av 2D-visning av bygget i plan og snitt med annotering og informasjon som er nødvendig for å montere anleggene slik de er prosjektert. Underlaget kan også inkludere skjematetegninger som beskriver anleggenes funksjon, topologi og oppbygning. For inneklimateanlegg vil følgende installasjoner normalt fremgå av produksjonsunderlaget.

- Rør- og kanalnett med eventuell isolasjon
- Ventiler, spjeld, lydfeller, filtre og andre komponenter i ledningsnett.

- Varme- og kjøleavgivere
- Aggregater, pumper og annet utstyr.

I produksjonsunderlaget beskrives installasjonene med egenskaper som er nødvendige for å korrekt montering og valg av produkter. Dette inkluderer følgende:

- Materialtyper
- Dimensjoner
- Anleggstype
- System- og komponentinformasjon
- Monteringshøyder og målsetting til referanser
- Installasjonenes ytelse og dimensjonerende kriterier hvis relevant

Utover produksjonsunderlaget vil prosjekteringsfasen også innebære andre leveranser, som eksempelvis:

- Dokumentasjon av premisser som ligger til grunn for prosjekterte løsninger
- Dokumentasjon av samsvar med forskrifter, sertifiseringsordninger eller andre krav
- Dokumentasjon av fravik fra forskriftskrav eller prosjektspesifikke krav
- Dokumentasjon av konsekvenser av endringer
- Dokumentasjon av kvalitetskontroller
- Beslutningsunderlag for valg av løsninger
- Funksjonsbeskrivelser for anleggene
- Utstyr- og mengdelister

Prosessene i prosjekteringen av inneklimateknikk krever i stor grad at informasjon utveksles med andre aktører i prosjektet. Følgende er eksempler på prosesser som inkluderer slik utveksling (Det tas utgangspunkt at RIAUT løses innenfor hvert av de tekniske fagene).

- Kommunikasjon av brukerkrav, forventninger og tiltenkt bruk (Byggherre / brukere)
- Beslutningsunderlag for valg av løsninger (Byggherre / brukere)
- Beregninger av nødvendige varme- og kjøleeffekter (ARK og RIByfy)
- Koordinering av føringsveier og sjakter (RIE, ARK, RIB, RIBr, RIAku)
- Gjennomføringer i bærende konstruksjoner (RIB)
- Koordinering av plassering av synlig utstyr i himlinger og vegger (ARK / RIE)
- Tilknytning av utstyr til strømforsyning og signal / byggautomasjonsanlegg (RIE)
- Elektrisk effektbehov til utstyr (RIE)
- Ivaretagelse av krav til støydemping og akustikk (RIAku)
- ivaretagelse av krav til tiltak mot brannspredning (RIBr)
- Koordinering av ventilasjonsanleggets funksjon ved brann (RIBR)
- Overlevering av produksjonsunderlag (Utførende for rør og ventilasjon)
- Beskrivelse av krav til produktegenskaper (Utførende / leverandører for rør og ventilasjon)
- Bistand med overlevering av underlag til driftsfasen (FDV) (Utførende, byggherre / driftsorganisasjon)

Det må være mulig å dokumentere korrespondanse knyttet til vurderinger og avklaringer som foretas i prosjekteringen. Avklaringsprosessene må involvere alle relevante aktører og dokumentasjonen må være tilgjengelige og sporbar.

4 Diskusjon

Hensikten med oppgaven er å vurdere hvordan BIM kan bidra til å oppfylle effektene av IR4 og IR5 innenfor prosjekteringen av inneklimateanlegg. I diskusjonen benyttes følgende oppsummering av anvendelsesområdene for IR4 og IR5

IR4:

- Automatisering av digitale arbeidsprosesser
- Digitale tvillinger for å redusere risiko og identifisere forbedringspotensialet
- Sammenkobling av digitale tvillinger for å forbedre informasjonsflyt

IR5:

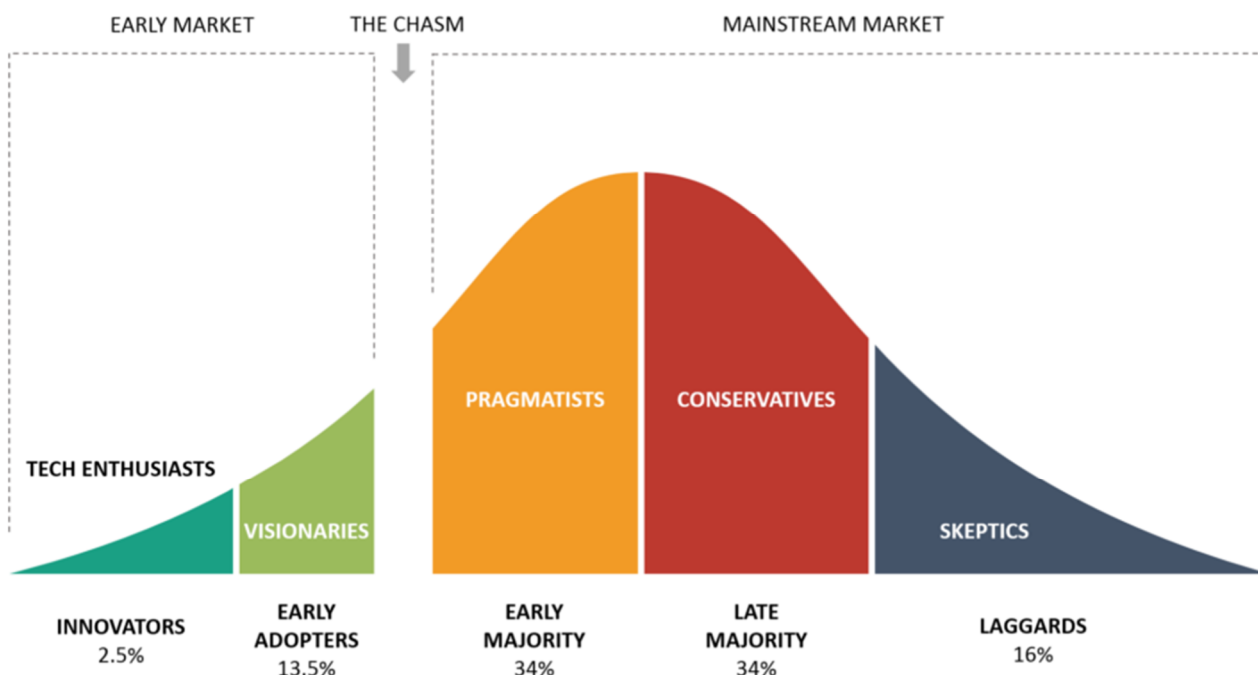
- Teknologien som middel for å realisere potensialet i menneskets skaperevne

Potensialet i BIM som teknologi er vurdert ved å sette informasjonen fra undersøkelsene i sammenheng med nevnte effekter av IR4, IR5 og prosesser i tradisjonell (iht. BIM Level 0 / Pre-BIM) prosjektering av inneklimateanlegg som er beskrevet i kapittel 3.16.

4.1 Bruk av BIM

I sin forskningsrapport med tittelen «Effekter av teknologiske endringer på norsk nærings- og arbeidsliv» skriver SINTEF følgende: [49]

«Vi tror at de fleste sektorer blir berørt, men at takten på hvor raskt teknologi innføres er avhengig konkurransesituasjonen og av den realkompetansen som arbeidsstyrken innehar og den viljen aktørene selv har til å omfavne de mulighetene som ligger i teknologien og evnen de har til å forstå hvordan man kan utnytte teknologi»



Figur 18 Typisk karakteristikk av oppslutning rundt ny teknologi. [34]

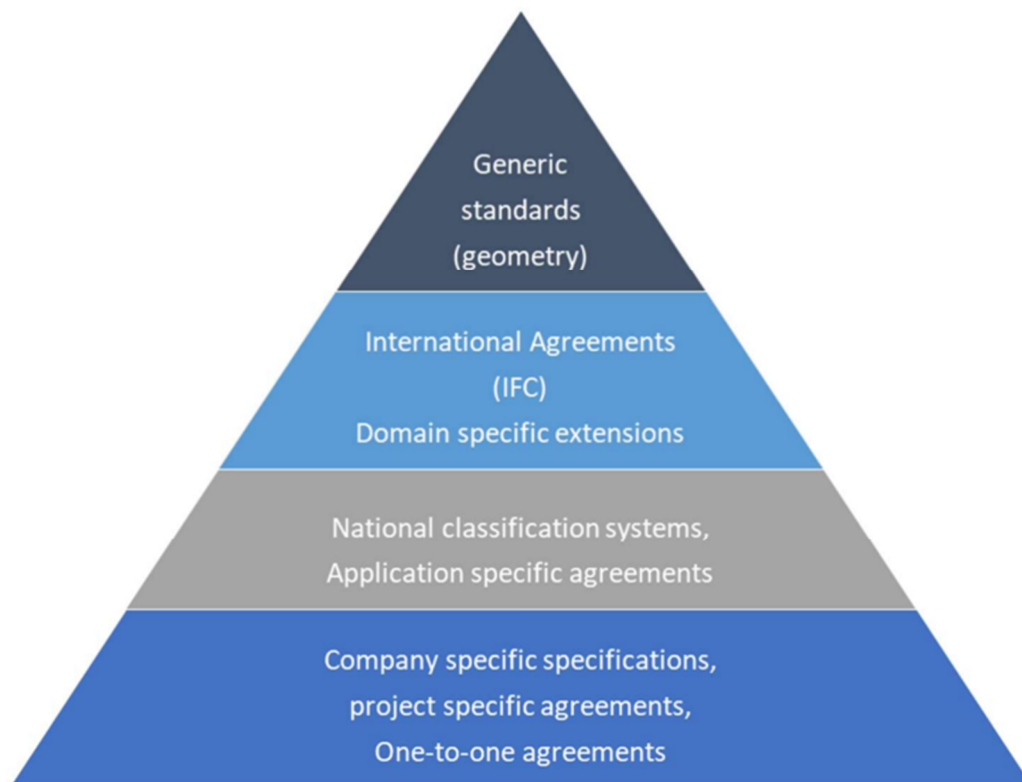
Figur 18 illustrerer typisk oppslutning rundt ny teknologi. Mellom den spesielt interesserte gruppen bestående av teknologientusiaster og visjonære og de øvrige er det en kløft (chasm) som må krysses for at teknologien skal ordentlig fotfeste i markedet. Denne kløften består av flere faktorer

Som annen teknologi åpner BIM for muligheter, men blir først interessant når den materialiseres i effektivitet og lønnsomhet. Teknologien må gjøres tilgjengelig i form av verktøy hvor potensiell gevinst må kommuniseres til brukere. Samtidig må merkostnader for tilleggsarbeidet knyttet til bruk av BIM fordeles på en hensiktsmessig måte.

BIM må implementeres fra starten av prosjektet og BIM-leveransen må forankres i en tydelig BIM Execution Plan (BEP) og Information Delivery Manual (IDM) som beskriver strategi og hensikt bak detaljeringsgraden som kreves. Dersom BIM forsøkes implementert lenger kan man ende opp med å digitalisere et kaos som er tidkrevende og uten gevinst.

For å finne de beste løsningene i prosjektering av inneklima- og ventilasjonsanlegg kreves kompetanse og erfaring som er naturlig at øker med alder. Innenfor digital teknologi stiller imidlertid den eldre generasjonen normalt svakere og har begrenset evne til omstilling, selv i ingeniørbransjen. Dette skaper utfordringer med å kombinere kompetansen som den eldre generasjonen besitter med avansert bruk av digital teknologi. En suksessfaktor ved implementering av ny teknologi vil derfor være å sørge for at terskelen for å ta den i bruk er lavest mulig. Dette kan eksempelvis innebære å basere BIM-løsninger på integrasjoner mot eksisterende verktøy som brukere er vant til å bruke for å begrense endringer i arbeidsmetoder og brukergrensesnitt.

BIM / OpenBIM bygger på standardisering av data og datautveksling. Standardisering er avhengig av oppslutning for å oppfylle sin hensikt. Oppslutning vil avhenge av flere faktorer. En generisk og universell standard vil ha større potensiale for oppslutning enn en standard som er tilpasset et snevrere bruksområde. En snevrere standard vil samtidig ha større nytteverdi for brukerne som tar den i bruk. BuildingSMART håndterer denne problemstillingen ved å dele standardiseringen i lag med økende spesialisering som vist i figur 19 hvor økende spesialisering bidrar til å imøtekomme et bredere publikum, men med en felles standardisering som utgangspunkt. Konkurrerende standarder vil redusere hverandres oppslutning. Dersom standarden koster penger vil dette kunne fungere som en betalingsmur som reduserer oppslutningen.[23]



Figur 19 Lagdelt standardisering med økende spesialisering. [15]

4.2 Sammenkobling av data

Med manuelt utarbeidede 2D-basert produksjonsunderlag, utstyrslister osv. har utveksling av informasjon måttet basere seg på korrespondanse eller utveksling av underlaget hvor informasjonen fremgår. BIM gjør det mulig å knytte data til modellelementer. Vet at det utarbeides grundige IDMer for prosjektet kan man sikre at den nødvendige informasjonen er tilgjengelig i modellen slik at det ikke er nødvendig med utveksling basert på manuell korrespondanse. [50]

Arbeidet som er i gang med OpenCDE og Data Exchange API vil kunne bidra til å ytterligere automatisere arbeidsprosessen ved at nødvendig informasjon kan hentes direkte fra en sentralmodell gjennom prosjekteringsverktøyet uten behov for å utveksle modeller. Ved hjelp av global identifisering av objekter i BIM-modellene vil APIene i OpenCDE kunne ha mulighet for å opprette koblinger mot data i sentralmodellen slik at endringer i data kan automatisk kan synliggjøres og oppdateres i eventuelle beregninger som baserer seg på den aktuelle dataen uten behov for manuell korrespondanse. Dette ville antagelig gitt gevinst også for kvalitetskontroll og sporbarhet. Linked Building Data Community Group (W3C) er en W3C-gruppe rettet mot bruksområder og løsninger for kobling av data. Tilsvarende arbeidsgruppe finnes innenfor buildingsSMART under navnet Linked Building Data Working Group (LDWG). Det er ikke publisert noen offisiell versjon av Data Exchange API under OpenCDE på dette tidspunktet. [51] [52]

I prosjekteringen av inneklimaen vil en sammenkobling av data som beskrevet ha flere bruksområder både for data som utveksles mellom aktører og informasjonsflyt innenfor samme aktør:

- Koble varme- og kjølebehovsberegninger mot relevante bygningselementer og prosjektkrav
- Effektbehov og forbrukskarakteristisk for elektrisk utstyr kan kobles mot effektbehovs- og samtidighetsberegninger for elektro
- Luftmengdeberegninger kan kobles mot forventede personlaster, planlagte prosesser, emisjonsdata fra byggematerialer, krav til komfortventilasjon osv.
- Elementer kan kobles mot relevante maskinlesbare prosjektkrav

Ved å benytte standardiserte APIer på tvers av prosjekter og faser kan kobling av parametere mellom BIM-modeller åpne for nye bruksområder. Et eksempel er kobling mot BIM-modell for offentlig infrastruktur for å utveksle data om forsyningskapasiteter, tilknytningskrav og forsyningsbehov.

4.3 Simulering

Ved at BIM-modellen bygges som en digital tvilling av bygget med alle relevante parametere kan det utføres simuleringer med utgangspunkt i BIM-modellen som datamodell. Løpende simuleringer kan benyttes til å validere modellen mot prosjektkrav og kartlegge konsekvenser av endringer i modellen. Et lignende prinsipp brukes innenfor programvareutvikling under navnet testdreven utvikling. Før man begynner å skrive kode settes det opp tester for alle funksjonene programmet skal inkludere. Underveis i programmeringen valideres programmet mot testene for å kontrollere at programmet fungerer som forventet iht. prosjektkrav.

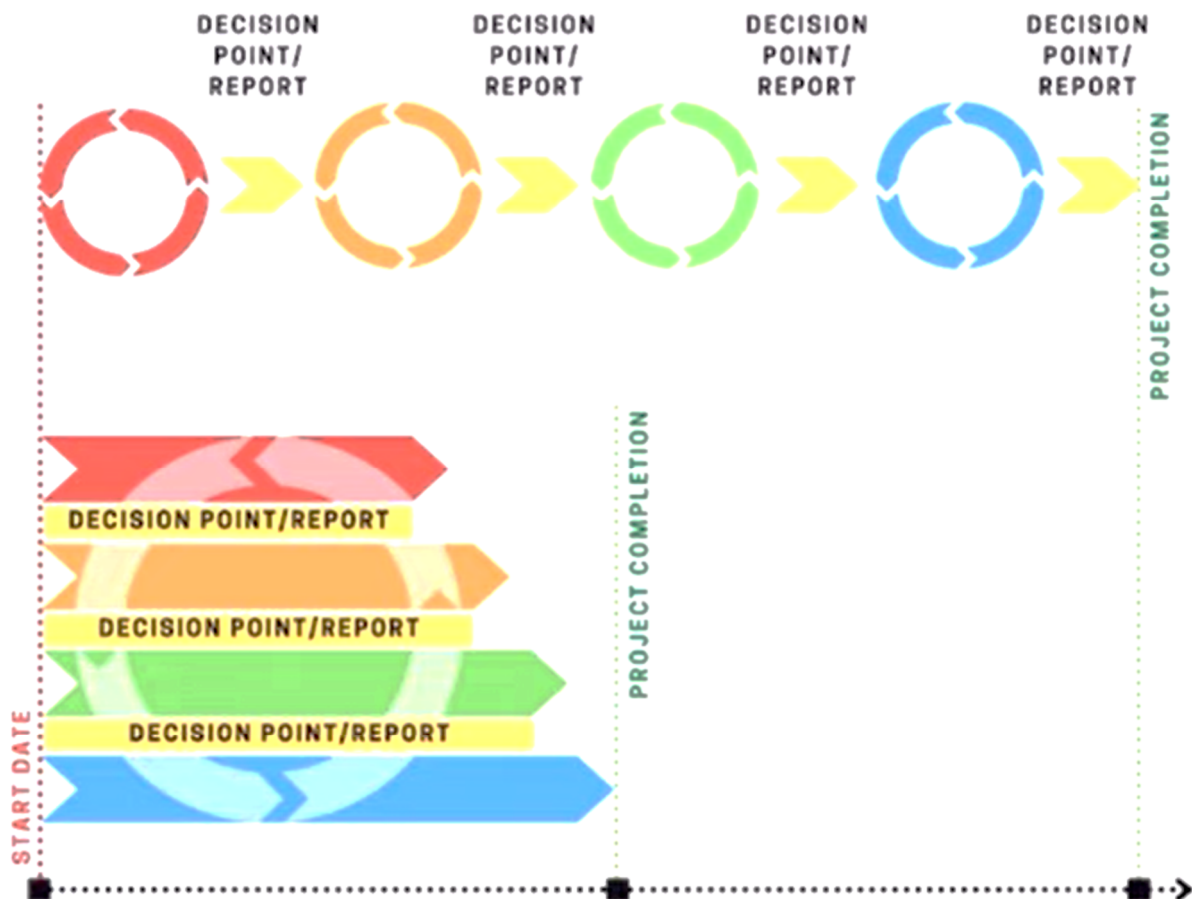
For at et lignende konsept skal kunne brukes i prosjekteringen av inneklimaen vil det kreve grundig utarbeidet Information Delivery Manual (IDM) og maskinlesbar Information Delivery Specification (IDS) for å sikre at datamodellen inneholder den nødvendige informasjonen. IFC må være standardisert og i en struktur som i kombinasjon med bSDD gir en entydig maskinlesbar beskrivelse av bygget. IFC er utviklet for å kunne beskrive alle abstrakte og fysiske elementer inkludert relasjoner mellom elementene i et byggeprosjekt slik at formatet kan håndtere datautveksling gjennom hele byggets livsløp og vil kunne fungere som en datamodell for simuleringer. BuildingSMARTs Model View Definition (MVD) og bSDD er verktøy som skal kunne brukes til å foreta validering av datamodeller som beskrevet.

Det er ikke undersøkt om bSDD beskriver alle nødvendige egenskaper som er nødvendige for gjennomføring av inneklimasimuleringer. Det vil innebære å kartlegge alle relevante parametere iht. en relevant simuleringsmodell og sammenligne disse parametere med beskrivelsene i bSDD. Relevante parametere kan inkludere karakteristikk for spredemønstre for ventilasjon eller varmeavgivelse for varmeavgivere. Det vil antagelig ikke være hensiktsmessig at dette hentes ut ved å analysere geometrien

i modellen ettersom dette ville stilt høyt krav til geometrisk presisjon i modellen som nødvendigvis ville påvirket modellens ytelse og krav til lagringskapasitet. EnergyPlus er rammeverk for simulering av energiytelsen til bygg og benyttes av mange simuleringsprogrammer, deriblant DesignBuilder. Det er utført studier av muligheten for BEM basert på BIM-modell og forutsetningene for utveksling av nødvendig data. Studiet konkluderer med at løsningene som finnes for datautveksling mellom BIM og analyseverktøy for BEM ikke er modent. Eksportering av data måtte gjøres i flere trinn med manuelle tilpasninger uten at resultatene kunne regnes som pålitelige uten grundig kvalitetskontroll. Studiet inkluderte ikke å integrere oppdatert data tilbake til BIM-modellen, men det er rimelige å anta at dette ville blitt en omstendelig prosess. [50] [53]

4.4 Kommunikasjon

Kommunikasjon mellom aktører er en kritisk del av prosjekteringsarbeidet og bør være effektiv, entydig og dokumenterbar. Tradisjonell løsningen har vært korrespondanse over epost med referanse til aktuelle områder basert på akse-, og planreferanser i kombinasjon med skisser. BIM Collaboration Format (BCF) er utviklet for effektiv og sporbar korrespondanse knyttet til saker i prosjekteringen. BCF kan knytte saker til elementer og visninger i 3D-modellen som gjør det til et effektivt verktøy for å synliggjøre problemstillinger og koordinere løsninger.



Figur 20 Potensiale for å spare tid ved å benytte ICE som arbeidsmetode. [39]

Virtual Design and Production (VDC) handler om virtuell prosjektering med bruk av BIM som ett av flere verktøy. Metoden inkluderer bruk av ICE (Integrated Concurrent Engineering) som er tverrfaglige arbeidsmøter hvor man samarbeider om å løse saker på tvers av fag. I disse møtene er visualisering av 3D-geometri et viktig verktøy. Denne metoden bidrar til å bygge forståelse for andre aktørers problemstillinger. Ved å diskutere hvilke hensyn som må ivaretas for ulike fag kan man finne frem til integrerte løsninger. Med integrert menes at løsningene bærer preg av samkjøring fremfor

kompromisser, som kan være et mer naturlig utfall hvis hvert fag løses hver for seg og deretter koordineres for å unngå konflikter. Figur 20 visualiserer muligheten for å spare tid ved å benytte ICE i prosjekteringen. Samtidig vil virtuell prosjektering gjøre det også mulig å tenke nytt i sammensetning av prosjekteringsgruppen ved at medarbeidere kan jobbe sømløst uten å sitte på samme sted. [2]

I prosjekteringen av inneklima-anlegg kan integrerte løsninger inkludere føringsveier og sjakter som bygges sammen med konstruksjonselementer eller at ventilasjonsrister og -ventiler benyttes som estetiske elementer.

4.5 Beslutningsstøtte

Prosjektering av inneklima-anlegg inkluderer beregninger, analyser og vurderinger som resulterer i valg av løsninger og produkter. Det kan være en kompleks og tidkrevende oppgave å holde orden på relevante parametere, spesielt i kombinasjonen med at det gjøres endringer på bygget underveis i prosjektet. Dette kan inkludere endringer av romarealer, varmelaster, tiltenkt bruk eller andre relevante dimensjoneringsparametere. Ved å benytte BIM Level 3 vil alle relevante data være tilgjengelige og oppdatert til enhver tid. Ved beslutninger kan alle relevante data hentes fra modellen og benyttes til å foreslå egnede løsninger basert på forhåndsdefinerte regelsett. Dermed kan manuelt arbeid minimeres slik at ingeniørene kan bruke tid gode vurderinger og kreative løsninger. I prosjekteringen av inneklima-anlegg kan eksempelvis byggets størrelse, utforming og virksomhet benyttes til å foreslå prinsipper for ventiler, regulering og aggregatinnndeling.

Ved å modellere relevante systemprosesser kan det utføres simuleringer for å analysere anleggets ytelser ved ulike bruksscenarioer og identifisere forbedringspotensial og eventuelle mangler.

4.6 Automatisering

Prosjektering av inneklima-anlegg innebærer tradisjonelt flere oppgaver med potensiale for automatisering ved hjelp av BIM. Følgende er eksempler på prosesser som kan automatiseres basert på data som kan implementeres i datamodellen. Automatisering vil kreve høy grad av nøyaktighet i modellarbeidet og en godt definert IDM og IDS.

- Luftmengdeberegninger kan utføres automatisk ved å hente relevante dimensjoneringsparametere fra datamodellen. Beregnede luftmengder kan deretter benyttes for automatisk dimensjonering av kanalnett. BIM kan også inkludere nødvendig data for å bestemme behov for reguleringsspjeld, lydfeller og plassering av ventiler for tilfredsstillende spredning. Ved å definere regler for føringsveier kan algoritmer benyttes til å foreslå føringsveier for rør og kanaler. Underlaget for beregningene kan eksporteres for dokumentasjon.
- Effektbehov for varme- og kjøling kan beregnes eller hentes ut av modellen og benyttes som underlag for beregning av rørdimensjoner. Trykkfallsberegninger kan utføres basert på røranlegget i modellen og danne grunnlaget for løsninger for innregulering, regulering og sirkulasjon osv.
- Tegninger som leveres som produksjonsunderlag kan annoteres automatisk basert på parametere knyttet til elementer og forhåndsdefinert annoteringsstrategi
- Kvalitetskontroller kan utføres automatisk basert på maskinlesbare prosjektkrav.
- Anleggenes funksjon skal normalt dokumenteres i form av en funksjonsbeskrivelse i prosaform. Ved å benytte forhåndsdefinerte beskrivelser av funksjonsprinsipper vil det være mulig å generere funksjonsbeskrivelse automatisk.
- Varsling ved endringer av data som er av betydning for andre aktører

4.7 Redusere risiko

Hensikten med prosjekteringen er å redusere risiko i utførelsen av prosjektet. Feil som oppdages under bygging kan ha store konsekvenser for økonomi og fremdrift. BIM kan benyttes til å simulere og

analysere fremdrift og utførelse på byggeplassen for å identifisere potensielle problemer før de oppstår på byggeplass. Tilsvarende analyser kan gjøres for å vedlikehold og utskiftninger i driftsfasen. I prosjekteringen av inneklimateknikk kan dette inkludere montering av rør- og kanalnett og inntransportering av aggregater i planlagt rekkefølge for å identifisere eventuelle problemer knyttet til tilkomst og logistikk.

4.8 Driftsfasen

Når systemet er i drift kan datamodellen som ble utarbeidet i prosjekteringsfasen berikes med driftsdata for å gjøre modellen mer presis slik at den kan benyttes som en digital tvilling for bygget. Denne kan brukes som modell for å forutse driftsproblemer, analysere muligheter for forbedringer eller som referanse for å vurdere systemenes ytelse. For innklimateknikk kan det eksempelvis være relevant å kontrollere ventilasjonsaggregatenes gjenvinningsgrad og energiforbruk mot modellen for å avdekke mulige feil på anlegget.

4.9 utfordringer med BIM

Kritiske røster taler for at teknologioptimismen kan være overdrevet ved at den overvurderer potensialet i teknologien og undervurderer utfordringer. Mangel på forståelse for praktisk anvendelse og kompleksitet og en tydelig prosjektspesifikk strategi for implementasjon av BIM (BEP) kan medføre at teknologien reduseres til et salgskort som skaper merarbeid og grunnlag for frustrasjon. I hvilken grad det tekniske potensialet lar seg realisere vil også avhenge av eksempelvis juridiske og organisatoriske problemstillinger som ikke er belyst i denne oppgaven.

OpenBIM er ikke nødvendigvis en garanti mot større aktører skyver ut de mindre. Samarbeid mellom grupper av leverandører og proprietære funksjoner knyttet til spesifikk programvare kan bidra til at interoperabiliteten ikke blir reell. Konkurransen om å levere verktøy med de beste funksjonene er samtidig et betydelig markedsøkonomisk premiss og insentiv for teknologisk utvikling. Det er også uheldig om utviklingen av programvare skal begrenses av hvilke funksjoner som er tilgjengelige i gjeldende standarder. Dersom kommersielle skal gi et fullstendig uegennyttig bidrag til utviklingen av OpenBIM må det finnes forretningsmodeller som forsvarer at dette er lønnsomt. [54]

5 Konklusjoner

BIM har bred interesse blant aktørene i byggebransjen. Teknologien blir allerede implementert i de fleste byggeprosjekter og forventningene er store til hvordan teknologien skal bidra til å forbedre prosessene i bransjen.

Samspeillet mellom standardiseringsorganisasjoner, interesseorganisasjoner som buildingsSMART og myndighetenes politiske innflytelse utgjør et godt utgangspunkt for å utvikle BIM til å utfylle sitt potensiale. BuildingSMART med sine medlemmer representerer et bredt spekter av aktørene i bransjen BuildingSMART med sine medlemmer representerer et bredt spekter av aktørene i bransjen som har mulighet til å bidra i standardiseringsarbeidene gjennom å kommunisere sine behov og brukstilfeller til de relevante komiteene. BuildingSMART process er en standardisert metode for utvikling av standarder i buildingSMART og baserer seg på at arbeidet som legges ned skal gi mest mulig nytteverdi for bransjen.

OpenBIM innebærer blant annet at data skal utveksles på åpne og standardiserte formater som sikrer alt alle verktøy og aktører benytter et felles sett av ikke-proprietær formater for modellering og utveksling av data. Oppslutningen om standardiseringsarbeidene som er utført i regi av BuildingSMART gjør at disse kan betraktes som standarder for OpenBIM.

BIM som teknologi er vurdert basert på prinsippene i OpenBIM og ISO 19650. En sentral målsetning for bruk av BIM er å bygge ned barrierer mellom datasiloer som er til hinder for utveksling av data mellom aktører og system. BIM bygger på denne måten interoperabilitet mellom aktørene i bransjen som er en forutsetning for at BIM skal kunne utnyttes fullverdig på modenhetsnivå BIM Level 3.

Kombinasjonen av IFC, bSDD og IDM med tilhørende standarder gjøre det mulig å gjennomføre et byggeprosjekt hvor alle fysiske og abstrakte elementer i prosjektet og byggets livsløp beskrives entydig i form av IFC- og BCF-baserte datastrukturer. Data Exchange API og Linked Building Data er prosjekter som er under utvikling i regi av BuildingSMART og vil kunne forbedre måten data kan utveksles og kobles sammen på både internt og på tvers av BIM-modeller.

Utveksling, strukturering og prosessering av data som fundament for automatisering, effektivisering og forbedring er essensen i IR4. Ved å eliminere manuelle og repetitive arbeidsoppgaver frigjøres menneskelig energi som kan fokuseres på kreativt og givende arbeid som er blant hovedelementene i IR5.

Konklusjonen av undersøkelsene er at riktig implementasjon av BIM i kombinasjonen med brukervennlige og innovative verktøy kan gjøre det mulig å utvikle løsninger på bruksområdene som beskrevet. Det er imidlertid usikkert om standardene i seg selv og implementasjonen av disse er tilstrekkelig modne for disse bruksområdene innenfor prinsippene for OpenBIM.

Det er ikke undersøkt hvilke tekniske begrensninger og svakheter knyttet til ytelse i IFC. Det vil eksempelvis kunne oppstå utfordringer i overgangen fra IFC som statisk filformat for overføring av fullstendige datamodeller til et sentralt format for fullstendig beskrivelse av bygget med API-basert utveksling av data hvor flere aktører utveksler informasjon samtidig. Det er heller ikke undersøkt om bSDD beskriver alle nødvendige egenskaper som er nødvendige for gjennomføring av inneklimasimuleringer.

Utover standardiseringsaspektet som er beskrevet vil det sannsynligvis være utfordringer knyttet til andre aspekter av prosjektene som ikke er beskrevet i denne oppgaven. Eksempelvis vil det sannsynligvis være utfordrende å realisere fullstendig interoperabilitet og organisatoriske og juridiske problemstillinger knyttet til utveksling av data. Det er ikke nødvendigvis av kommersiell interesse for programvareleverandørene og bidra til prinsippene i OpenBIM i en konkurransesituasjon.

5.1 Refleksjon

Dette dokumentet er primært en besvarelse på et masterstudie i Energi og Miljø og det er derfor vurdert som relevant å ta med en noen konkluderende refleksjoner rundt oppgaven som masteroppgave og bidrag til BIM som fagfelt.

Målet med oppgaven har vært å undersøke potensialet i teknologien der den står i dag. Uten bakgrunn fra BIM-teknologien har det imidlertid vært utfordrende å oppnå tilstrekkelig innsikt til å gjøre en vurdering som er av nytteverdi for feltet innenfor rammene av en masteroppgave. Det har vært tidkrevende å sette seg inn i prinsippene for BIM basert på gjeldende standarder og det har ikke blitt tilstrekkelig tid til å sette seg inn relevante systemer og programvare som opprinnelig planlagt.

Undersøkelsene er ikke dyptgående nok til å gjøre noen tungtveiende vurdering av hvor teknologien står i dag. Oppgaven bidrar dermed i liten grad til å avdekke ny kunnskap, men kan ha en viss nytteverdi som en oppsummering og overfladisk beskrivelse av relevante emner innenfor BIM-teknologien og hvordan disse er av relevans for prosjektering av inneklima-anlegg.

Kartlegging av relevante aktører har relevans for innsikten i emnet, men oppgaven lykkes ikke i å sette aktørenes rolle i sammenheng med teknologiens posisjon og potensiale.

Mye tid har også gått med til innledende undersøkelser og innsnevring av emnet underveis. Materiale som ikke har vært av relevans for det endelige emnet har blitt fjernet. Selv om omfanget av oppgaven er forsøkt begrenset har det endelige omfanget vist seg å fortsatt være for bredt. Innenfor det tekniske aspektet av teknologien har det vært tidkrevende materiale å sette seg inn i som har gjort det utfordrende å gi oppgaven og konklusjonen ordentlig substans.

Oppgaven har imidlertid gitt stort personlig læringsutbytte i form av forståelse av den tekniske siden av teknologien og noen av utfordringer bransjen står overfor.

6 Referanser

- [1] P. Reddy *mfl.*, «Industry 5.0: A Survey on Enabling Technologies and Potential Applications», *J. Ind. Inf. Integr.*, bd. 26, jul. 2021, doi: 10.1016/j.jii.2021.100257.
- [2] «The Transformative Power of Building Information Modeling», *BCG Global*, 19. august 2020. <https://www.bcg.com/publications/2016/engineered-products-infrastructure-digital-transformative-power-building-information-modeling> (åpnet 25. mai 2022).
- [3] «A Europe fit for the digital age», *European Commission - European Commission*. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age_en (åpnet 25. mai 2022).
- [4] «ec_rtd_he-investing-to-shape-our-future.pdf». Åpnet: 25. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/strategy_on_research_and_innovation/presentations/horizon_europe/ec_rtd_he-investing-to-shape-our-future.pdf
- [5] «9 reasons why Norway is THE BEST in BIM!», *Bim Corner*, 1. mars 2020. <https://bimcorner.com/9-reasons-why-norway-is-the-best-in-bim/> (åpnet 24. mai 2022).
- [6] «arsrapport-2020_endelig.pdf». Åpnet: 25. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.forskningsradet.no/siteassets/publikasjoner/2021/arsrapport-2020_endelig.pdf
- [7] «end-to-end-collaboration-enabled-by-bim-level-3-white-paper-aec.pdf». Åpnet: 24. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.3ds.com/fileadmin/Industries/Architecture-Engineering-Construction/Pdf/Whitepapers/end-to-end-collaboration-enabled-by-bim-level-3-white-paper-aec.pdf>
- [8] «buildingSMART - The International Home of BIM», *buildingSMART International*. <https://www.buildingsmart.org/> (åpnet 25. mai 2022).
- [9] «2021-01-15_ECS-SRIA2021_final.pdf». Åpnet: 24. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.smart-systems-integration.org/system/files/document/2021-01-15_ECS-SRIA2021_final.pdf
- [10] «Enabling-Digital-Twins-Positioning-Paper-Final.pdf». Åpnet: 24. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <https://buildingsmart-1xbd3ajdayi.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2020/06/Enabling-Digital-Twins-Positioning-Paper-Final.pdf>
- [11] Bluebeam, Inc., *BIM vs. VDC: Is there a difference?*, (13. september 2017). Åpnet: 24. mai 2022. [Online Video]. Tilgjengelig på: <https://www.youtube.com/watch?v=Fcf3hF7bAKI>
- [12] «How much information do we need in the BIM model?», *Bim Corner*, 14. desember 2021. <https://bimcorner.com/how-much-information-do-we-need-in-the-bim-model/> (åpnet 24. mai 2022).
- [13] «There are Four BIM Flavors», *Shoegnome Architects*, 31. januar 2013. <http://www.shoegnome.com/2013/01/31/there-are-four-bim-flavors/> (åpnet 24. mai 2022).
- [14] «Why BIM is Still Bankrupting Your Firm», *Shoegnome Architects*, 9. desember 2015. <http://www.shoegnome.com/2015/12/09/bim-still-bankrupting-firm/> (åpnet 24. mai 2022).
- [15] B. Succar, «Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders», *Autom. Constr.*, bd. 18, nr. 3, s. 357–375, mai 2009, doi: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.
- [16] A. GhaffarianHoseini, J. Tookey, og A. GhaffarianHoseini, «Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for Inspecting the Post-Construction Energy Efficiency», *N. Z.*, s. 4, 2014.
- [17] «TheNBSBIMReport2020.pdf». Åpnet: 24. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <https://architecturaltechnology.com/static/3f388415-32f9-408d-85cc2c1adf13d012/TheNBSBIMReport2020.pdf>
- [18] *ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles*, 1. utg. ISO, 2018.
- [19] *ISO 19650-2:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets*, 1. utg. ISO, 2018.

- [20] E. Somers, «Project Manager Engagement Governance & Partnerships esomers@cencenelec.eu», s. 122, 2021.
- [21] «Everything worth knowing about the IFC format», *Bim Corner*, 3. desember 2019. <https://bimcorner.com/everything-worth-knowing-about-the-ifc-format/> (åpnet 24. mai 2022).
- [22] E. Amoah og T. Nguyen, «Optimizing the Usage of Building Information Model (BIM) Interoperability Focusing on Data Not Tools», presentert på 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Banff, AB, Canada, mai 2019. doi: 10.22260/ISARC2019/0144.
- [23] «20200430_buildingSMART_Technical_Roadmap.pdf». Åpnet: 24. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: https://buildingsmart-1xbd3ajdayi.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2020/09/20200430_buildingSMART_Technical_Roadmap.pdf
- [24] «interoperability_V6.pdf».
- [25] R. Petrie, «The buildingSMART International Process», s. 31.
- [26] «20200525.OpenCDE.Update.BSi.Virtual.Summit.pdf».
- [27] «Secrets of the IFC format», *Bim Corner*, 11. februar 2020. <https://bimcorner.com/secrets-of-the-ifc-format/> (åpnet 24. mai 2022).
- [28] T. H. Kolbe og A. Donaubaue, «Semantic 3D City Modeling and BIM», i *Urban Informatics*, W. Shi, M. F. Goodchild, M. Batty, M.-P. Kwan, og A. Zhang, Red. Singapore: Springer Singapore, 2021, s. 609–636. doi: 10.1007/978-981-15-8983-6_34.
- [29] BIM Secrets, *IFC Schema basics*, (2. september 2018). Åpnet: 24. mai 2022. [Online Video]. Tilgjengelig på: https://www.youtube.com/watch?v=q_7i4l7KSeI
- [30] «IFC4.3.0.0 Documentation». <http://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/> (åpnet 24. mai 2022).
- [31] «IFC file structure (part1): the IfcObjectDefinition», *BibLus*, 1. oktober 2020. <https://biblus.accasoftware.com/en/ifc-file-structure-the-ifcobjectdefinition/> (åpnet 24. mai 2022).
- [32] «IFC schema (part2): the IfcRelationship concept», *BibLus*, 14. februar 2020. <https://biblus.accasoftware.com/en/ifc-schema-the-ifcrelationship-concept/> (åpnet 24. mai 2022).
- [33] «Architettura file IFC (parte 3): IfcPropertyDefinition», *BibLus-BIM*, 10. februar 2020. <https://bim.acca.it/ifc-property-definition/> (åpnet 24. mai 2022).
- [34] S. Pfuhl, «Analysis of Exchange Requirements for BIM- based Fire Code Compliance Checking», s. 67.
- [35] yousheng, «IFC Explore», *BIM Mars*, 4. oktober 2019. <https://bimmars.com/ifc-explore/> (åpnet 24. mai 2022).
- [36] «BCF intro — Welcome to buildingSMART-Tech.org», 24. november 2018. <https://web.archive.org/web/20181124220315/http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/bcf-releases> (åpnet 25. mai 2022).
- [37] «Ljubim te».
- [38] «Information Delivery Specification IDS», *buildingSMART Technical*. <https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/> (åpnet 25. mai 2022).
- [39] «BIM - Statsbygg». <https://www.statsbygg.no/bim> (åpnet 25. mai 2022).
- [40] «buildingSMART Data Dictionary», *buildingSMART International*. <https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/> (åpnet 25. mai 2022).
- [41] B. Dong, K. P. Lam, og Y. C. Huang, «A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments», *Build. Simul.*, s. 8, 2007.
- [42]. «bim - a new BIM file format», *Bim Corner*, 4. mai 2022. <https://bimcorner.com/a-new-bim-file-format/> (åpnet 24. mai 2022).
- [43] «BIMXML». <http://www.bimxml.org/> (åpnet 25. mai 2022).
- [44] «What is the best file format in BIM? IFC or DWG?», *Bim Corner*, 17. februar 2020. <https://bimcorner.com/the-best-bim-format/> (åpnet 25. mai 2022).
- [45] D. Zijdemans, *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*, 2014., 3. utgave. utg. Skarland Press AS.

- [46] S. Ingebrigtsen, *Ventilasjonsteknikk - Del I*, 2019. utg. VVS-foreningen/Nemitek.
- [47] B. Soleng *mfl.*, «RIV RÅDGIVNINGS- OG PROSJEKTERINGSYTELSER», s. 28.
- [48] «220.010 Programmering av byggeprosjekter - Byggforskserien».
https://www.byggforsk.no/dokument/2766/programmering_av_byggeprosjekter (åpnet 24. mai 2022).
- [49] «sintef_rapport_a27222_nho_effekteravteknologiskeendringer.pdf». Åpnet: 24. mai 2022.
[Online]. Tilgjengelig på:
https://www.tekna.no/contentassets/d6547674ee0a489a96a5d9381565c5c5/sintef_rapport_a27222_nho_effekteravteknologiskeendringer.pdf
- [50] Y. LUO, «Simulation energetic – the Green BIM», *BIM Mars*, 11. august 2019.
<https://bimmars.com/simulation-energetic-the-green-bim/> (åpnet 24. mai 2022).
- [51] «bS_LDWG_MVD_Whitepaper_final_2017.pdf». Åpnet: 24. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på:
https://standards.buildingsmart.org/documents/bS_LDWG_MVD_Whitepaper_final_2017.pdf
- [52] «Linked Building Data Community Group». <https://www.w3.org/community/lbd/> (åpnet 24. mai 2022).
- [53] S. Wang, G. Wainer, R. Goldstein, og A. Khan, «Solutions for Scalability in Building Information Modeling and Simulation-Based Design», s. 10.
- [54] J. Xia, «What Interoperability really means in a BIM context?», *bimmodel*, 5. september 2016.
<https://www.bimmodel.co/single-post/2016/09/05/what-interoperability-really-means-in-a-bim-context> (åpnet 24. mai 2022).