

Jinyi Wu

Bruk av BIM til FDV i jernbanesektoren

Masteroppgave i veg og jernbane

Veileder: Eilif Hjelseth, IBM

Medveileder: Kristoffer Krosby, Sweco

Mai 2021

Jinyi Wu

Bruk av BIM til FDV i jernbanesektoren

Masteroppgave i veg og jernbane
Veileder: Eilif Hjelseth, IBM
Medveileder: Kristoffer Krosby, Sweco
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført i perioden august 2020 til mai 2021 og er avslutningen på en erfaringsbasert master i jernbaneteknikk ved Fakultet for ingeniørvitenskap, Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng.

Jeg vil først takke hovedveileder Eilif Hjelseth ved NTNU og lokal veileder Kristoffer Krosby ved Sweco som har gitt meg faglig innspill og tilbakemeldinger gjennom hele masteroppgaven. Jeg er også takknemlig for at Sweco har gitt meg mulighet til å ta denne masteren ved siden av fulltidsjobb.

En stor takk også til alle intervjudeltagerne som var villige til å dele sine erfaringer og kunnskaper gjennom denne masteroppgaven og de andre som har vært behjelpelige i mine intervjuprosesser selv om de ikke deltok selve intervjuene.

Jeg vil også takke min kollega Kristoffer Bjornes for gjennomlesing og tilbakemeldinger på oppgaven og Christoffer Kvernfold som hjalp meg med korrekturlesing.

Til slutt vil jeg takke familie, venner og kjæreste som har støttet meg under denne skriveprosessen.

Jinyi Wu

Oslo, 14.05.2021

Sammendrag

Anvendelse av BIM i driftsfasen ligger lenger bak enn for prosjektering- og byggefasen. Bruk av BIM i jernbanesektoren er også i et tidlig stadium i forhold til i byggsektoren. I store jernbaneprosjekter som Intercity er det ofte behov for levering av store mengder data som senere vil arkiveres som FDV-dokumentasjon. Dette skaper utfordringer for både prosjekterende, entreprenører og driftsorganisasjon som skal holde kontroll på dataene. Gjennom dette forskningsarbeidet ønsker undertegnede å undersøke hvordan BIM kan brukes til effektiv FDV i jernbanesektoren.

Gjennom litteraturstudien og semistrukturerte intervjuer kommer det frem at utvikling og implementering av BIM til FDV går fremover både i Norge og internasjonalt. Digitalisering og etterspørsel fra jernbanesektoren er de to viktigste driverne for implementeringen. Det er også identifisert at BIM kan brukes til raskere lokalisering av objekter, sanntidsovervåking av anlegget, markedsføring og til opplæringsformål. Simuleringer ved bruk av «digital tvilling» kan effektivisere og optimalisere FDV-prosesser. Funn viser også at den ikke-geografiske informasjonen er det viktigste for driftsorganisasjonen.

Dagens BIM-modeller har av ulike årsaker begrenset bruk i driftsfasen innen jernbanesektoren. For det første er ikke BIM-modeller en del av den tekniske dokumentasjon hos Bane NOR. For det andre inneholder BIM-modeller lite metadata som driftsorganisasjon trenger for å drifte anlegg. Bakgrunn for manglende informasjon kan potensielt være forårsaket av manglende kunnskap og erfaring med BIM i driftsorganisasjon, uklare/ustrukturerte informasjonskrav og at det er vanskelig å vite hvilken informasjon som skal samles til hvilken tid i prosjektets livsløp. Interoperabilitet er også en kjent utfordring for informasjonsutveksling. Dette kan løses med åpne standarder utviklet for jernbane. Det fremkommer også at modelleringsverktøy og BIM-arkiv som er spesialtilpasset jernbane også er essensielt for videre implementering av BIM til FDV.

Per dags dato har man for lite erfaring med BIM i driftsfasen innen jernbane og effekten av implementering er også derfor vanskelig å kvantifisere. Ufullstendig implementering av BIM kan føre til økt arbeid og ekstra kostnader. Anbefalinger rundt videre forskningsarbeid samt råd for implementering av BIM er blitt beskrevet i detalj i oppgaven. Oppgaven konkluderer med at en helhetlig implementering av BIM kan optimalisere og effektivisere FDV i jernbanesektoren. Likevel vil de høye investeringskostnadene gjøre at byggherren må vurdere om dette kan balanseres opp med besparelser som kommer senere i driftsfasen.

Abstract

Adoption of BIM in operation and maintenance phase is lagging behind the design and construction phase. Utilization of BIM in railway sector is still in an early stage compared to the building sector. Delivery and archive of a huge amount of drawings and documents are quite usual in railway projects like “Intercity” which are challenging for designers, contractors and the facility managers. This master thesis aims to find out how BIM could be used to make facilities management and asset management more effective in railway sector.

Review of existing literatures and semi-structured interviews are the main methods in this master thesis. The results show that adoption of BIM to facilities management has a positive trend both nationally and internationally. Digitalization and requests from the railway sector are the main drivers for the implementation. In this thesis it has been found that BIM can be used for rapid localization of objects, real-time monitoring of the facility by integration with other technologies and training purposes. Simulation through digital twins can streamline and optimize operation and maintenance. The results also show that the non-geographical information in BIM models is the most essential to the operations and maintenance teams.

BIM nowadays is not used for operation and maintenance in railway sector due to many reasons. On one hand, BIM is not approved as a technical documentation by Bane NOR. Additionally, the current BIM models lack the information that facility managers need in operation and maintenance phase. Other reasons include requirements that are too comprehensive to identify, lack of knowledge among facility managers about BIM, unstructured information and difficulty to identify what information should be collected at what time in the project lifecycle. Interoperability is also a challenge which could be resolved by open standards developed for railway. Moreover, there is a lack of a BIM archive and modelling tools specifically designed for railway. These are some of the technicalities that are essential to be resolved before BIM can be widely adopted in the railway sector.

This thesis concludes that full adoption and integration of BIM may streamline and optimize operation and maintenance related tasks. However, high investment and implementation costs require the stakeholder to evaluate if the costs would be acceptable considering the long-term returns in the operation and maintenance phase. Incomplete adoption and utilization of BIM may lead to an overload of information and extra work. Proposals for further research and recommendations to the builder, contractors/consultants and software suppliers will be presented at the end of the master thesis.

Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT	V
FIGURLISTE	X
TABELLISTE	X
BEGREPSFORKLARING	XI
FORKORTEELSE	XI
1 INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn for valg av oppgave	1
1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål	2
1.3 Mål for oppgave	2
1.4 Omfang og avgrensinger	2
1.5 Disposisjon	5
2 METODE	7
2.1 Kvantitativ og kvalitativ metode	7
2.2 Forskningsdesign.....	7
2.3 Intervju	8
2.3.1 Utvalgte intervjuobjekter	8
2.3.2 Intervjuguiden.....	9
2.3.3 Gjennomføring.....	9
2.3.4 Transkribering.....	9
2.3.5 Forskningsetikk.....	10
2.4 Litteraturstudie	10
2.4.1 Søkestrategi.....	10
2.4.2 Prinsipp for valg av kilder	11
2.5 Oppgavens troverdighet	12
2.5.1 Validitet	12
2.5.2 Reliabilitet.....	13
2.5.3 Kildekritikk.....	13
3 LITTERATURSTUDIE	15
3.1 Eksisterende forskning og litteratur	15
3.2 Forvaltning, drift og vedlikehold av jernbaneinfrastruktur	16
3.2.1 FDV-dokumentasjon.....	17
3.2.2 Drift og vedlikeholdssystem	18
3.3 BIM	20
3.3.1 MMI – Modell Modenhet Indeks.....	21
3.3.2 BIM nivå.....	22
3.3.3 Data utvekslingsformat	23

3.3.4	Åpne standarder	25
3.3.5	BIM-server.....	29
3.3.6	Kravdatabase for BIM-krav	29
3.4	Digital planlegging i jernbanesektoren.....	29
3.5	Utviklingen for BIM til FDV nasjonalt og internasjonalt	31
3.5.1	Utviklingstemaer i KIM.....	31
3.5.2	ISO 19650.....	33
3.5.3	Utvikling internasjonalt	34
3.6	Drivere for utvikling.....	35
3.6.1	Innovasjon og bærekraftig formål.....	35
3.6.2	Etterspørsel og konkurranse.....	36
3.7	Bruksområder og fordeler	37
3.8	Utfordringer og muligheter	42
3.8.1	Tekniske utfordringer	42
3.8.2	Prosessrelaterte utfordringer	43
3.8.3	Tankesett.....	44
3.8.4	Juridiske utfordringer.....	44
3.8.5	Avkastning på investering	45
4	INTERVJU	47
4.1	Utvikling for BIM til FDV i jernbanesektoren.....	47
4.1.1	Dagens status	47
4.1.2	Utvikling nasjonalt innen jernbanesektoren.....	51
4.2	Bruksområder og fordeler	53
4.2.1	Bruksområder for dagens BIM	53
4.2.2	Bruksområder for fremtidig BIM.....	54
4.3	Utfordringer og muligheter	56
4.3.1	Tekniske utfordringer	56
4.3.2	Prosess, tankesett og avkastning på investering.....	60
5	DISKUSJON.....	61
5.1	Utviklingen for BIM til FDV nasjonalt og internasjonalt	61
5.1.1	Dagens status, videre utvikling og utviklingstrender.....	61
5.1.2	Utviklingen internasjonalt.....	64
5.2	Drivere for implementering.....	64
5.3	Bruksområder og fordeler	65
5.4	Utfordringer og muligheter	67
5.4.1	Tekniske utfordringer	67
5.4.2	Prosessrelaterte utfordringer	71
5.4.3	Tankesett.....	71
5.4.4	Juridiske utfordringer.....	72
5.4.5	Avkastning på investering	72

6	OPPSUMMERING OG KONKLUSJON	75
6.1	Oppsummering	75
6.2	Konklusjon	79
6.3	Anbefaling	80
6.4	Videre arbeid	82
	REFERANSELISTE	83
	VEDLEGG	I
	Vedlegg 1: Intervjuguide	ii
	Vedlegg 2: Mal for koding og transkribering	iv
	Vedlegg 3: utfordringer diskutert i eksisterende forskning	v

Figurliste

Figur 1 Forholdet mellom «som bygget BIM», «BIM i driftsfasen» og «BIM til FDV»	4
Figur 2 Omfang av teknisk dokumentasjon som er arkivverdig (Bane NOR, 2019c)	18
Figur 3 Maximo - Bane NORs drifts og vedlikeholdssystem (Bane NOR, 2020c)	19
Figur 4 Modell modenhet Index for samferdsel (Norheim et al., 2020)	21
Figur 5 BIM modenhetsnivå utviklet av Mark Bew og Mervyn Richards (Sacks et al.2018, s. 15).....	22
Figur 6 IFC Rail og ISO standard (buildingSMART, 2020)	26
Figur 7 Omfang for detaljering av kravspesifikasjon for IFC Rail (buildingSMART, u.å.-d)	26
Figur 8 Digital byggeplass og digital tvilling (Byggenæringens Landsforening, 2017).....	33
Figur 9 Antall journaler publisert fra 2008 til 2018 relatert til BIM for FDV (Matarneh et al., 2019).....	34
Figur 10 Ny driftsmodell hos Bane NOR (Bane NOR, 2020c)	37

Tabelliste

Tabell 1 Oversikt over forskningsspørsmål og metode	8
Tabell 2 Søkord benyttet i søkemotorer	11
Tabell 3 TONE strategi (VIKO, u.å.)	12
Tabell 4 Jernbane komponenters levetid (Jernbaneverket, 2015).....	17
Tabell 5 Oversikt over innhold og temaer for BIM til FDV 2008-2018 (Matarneh et al., 2019)	35
Tabell 6 Intervjuobjekter med bakgrunn fra prosjekteringsledelse, BIM og dokumentstyring	47
Tabell 7 Intervjuobjekter fra driftsorganisasjon	47
Tabell 8 Identifiserte utfordringer for implementering av BIM til FDV fra intervjuer	56

Begrepsforklaring

Asset management: Koordinert aktivitet i en organisasjon med formål å realisere et objekts verdi iht. ISO 41011:2017

Facilities management: Ledelsesfunksjon i en virksomhet som understøtter mennesker, sted og prosess med det formål å forbedre menneskers livskvalitet og produktiviteten til kjernevirksomheten innenfor et bebyggt område iht. NS-EN ISO 41011:2018

Intercity: Intercity utbyggingen innebærer at Bane NOR skal bygge 270 kilometer nytt dobbeltspor innen 2034. Satsingen skal gi kortere reisetid og flere avganger.

Forkortelse

API: Application Programming Interface

bsDD: buildingSMART Data Dictionary

BIM: Bygningsinformasjonsmodellering eller bygningsinformasjonsmodell

BIMQ: Kravdatabase for BIM-krav til IFC-modeller. Leveres av tysk firma AEC3

GIS: Geografisk Informasjonssystem

GDPR: General Data Protection Regulation, på norsk Personvernforordningen

IFC: Industry Foundation Classes

IDM: Information Delivery Manual

FDV: Forvaltning, drift og vedlikehold

FDVUSP: Forvaltning, drift, vedlikehold, service og potensial

FRE16: Fellesprosjektet for Ringeriksbane og E16

KIM: Krav til informasjonsmodellering for veg, bane og bygninger for totalentreprisene i FRE16

LCC: Livssyklus kostnader

MVD: Model view definition

NTP: National transportplan

NBIMS: National BIM Standard

NIBS: National Institute of Building Sciences

OGC: Open Geospatial Consortium

PIMS: Project Information Management System

RCM: Reliability Centered Maintenance

RDF: Resource Description Framework

UDK: Utbyggingsprosjektet Drammen til Kobbervikdalen

XML: Extensible Markup Language

1 Innledning

I Norge har den offentlige samferdselssektoren begynt å kreve bruk av BIM-modeller i prosjektene sine. Blant annet har Bane NOR vedtatt en BIM-strategi for alle modellbaserte jernbaneprosjekter. Strategien stiller krav til at planlegging, prosjektering og bygging skal være modellbasert (Bane NOR, 2019a). I vegsektoren har Statens Vegvesen utviklet Håndbok V770 modellgrunnlag siden 2010 og første utgave av håndboka ble publisert i 2012 for å sette standardiserte retningslinjer for bruk av BIM-modeller i vegprosjekter samt for å stille krav til data og dokumenter som skal overleveres til byggherre (Statens Vegvesen, 2015).

Fordeler med å implementere BIM fra idefase til gjennomføringsfase har blitt undersøkt og diskutert i bransjene. For å nevne noen eksempler kan BIM bidra til økt kvalitet i prosjekteringsgrunnlag, bedre kommunikasjonsflyt mellom fagdisipliner og besparelser på både tid og kostnader (Charef, Alaka og Emmitt, 2018). Fokus på å optimalisere modellbasert prosjektering og gjennomføring er stort, men bruk av BIM avslutter ofte etter at FDV dokumentasjon er overlevert, og tema for bruk av BIM i driftsfasen er mindre diskutert (Fuglesang, 2017). Ny statusoppdatering om utvidet bruk av BIM til FDV er nødvendig for videre utvikling i bransjen.

1.1 Bakgrunn for valg av oppgave

Bane NOR har vært en av de største kundene for Sweco region infrastruktur. Erfaringen tilsier at krav og behov på utført dokumentasjon for forvaltning, drift og vedlikehold tiltar.

Oppgaven vil derfor sette søkelys på muligheter for videre implementering av BIM som kan være til nytte for anleggseier, driftsorganisasjon og driftsleverandør som skal drifte, forvalte og vedlikeholde banestrekninger og ikke minst entreprenører og rådgivere som skal levere fra seg store mengder av dokumentasjon. I store jernbaneprosjekter som InterCity må det i noen tilfeller leveres flere hundre tegninger samt fagmodeller som skal arkiveres som utførte versjoner når anlegget står ferdig. I tillegg til tegninger og modeller skal jernbaneobjekter også registreres i Bane NORs arkivsystem for drift, forvaltning og vedlikehold (Bane NOR, 2020a).

Riksrevisjonen (2020) har påpekt i en undersøkelse av effektivitet i vedlikehold av jernbanenettet at dokumentasjon av tilstanden på banen ofte er ufullstendig samt at det mangler et system for å måle produktiviteten i vedlikeholdsarbeid hos Bane NOR (Riksrevisjonen, 2020). Bakgrunn av dette kan muligens være at det er krevende å registrere og arkivere store mengder data og dokumentasjon uten feil når mye av arbeidet ikke er

automatisert (Tunli, 2019). Kartlegging av hvordan BIM kan bidra til å effektivisere og forbedre dagens FDV i jernbanesektoren vil skyve utviklingen i riktig retning. Nytteverdien av BIM-modeller kan bli større om man ikke bare begrense bruksområdet til planlegging, prosjektering og bygging (Byggjeneste, 2011).

1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Basert på tidligere funn og erfaringer, er problemstillingen i denne masteroppgaven utformet som følgende:

Hvordan kan bruk av BIM bidra til effektiv FDV i jernbanesektoren?

Med bakgrunn i problemstillingen er det stilt følgende forskningsspørsmål som oppgaven skal forsøke å besvare:

1. Hva er utviklingen nasjonalt og internasjonalt for BIM til FDV?
2. Hvilke drivere finnes det for implementering av BIM til FDV?
3. Hvilke bruksområder og fordeler finnes det for BIM til FDV?
4. Hvilke utfordringer og muligheter finnes det for implementering av BIM til FDV?

Oppgavens forskningstema vil ha en tilnærming til jernbanesektoren.

1.3 Mål for oppgave

Oppgavens hovedmål er å bidra til videre utvikling av BIM innenfor jernbanesektoren ved å undersøke hvordan bruk av BIM kan bidra til effektiv FDV. Målgruppen for denne oppgaven er de som har behov for å forstå dagens status for BIM til FDV innen jernbanesektoren, hvilke bruksområder og fordeler BIM har til forvaltning, drift og vedlikehold og hva som skal til for vellykket implementering av BIM til FDV. Målgruppen er definert som følgende:

1. Driftsorganisasjon, prosjekteringsledere og BIM ansvarlige hos Bane NOR
2. Prosjekteringsledere og BIM ansvarlige hos rådgivende firma eller entreprenør
3. Drift og vedlikeholdsleverandører
4. Andre aktører som har interesse innenfor BIM til FDV

1.4 Omfang og avgrensinger

I bearbeidelse av forslag til masteroppgaven er det gjennomført litteraturstudie for å kartlegge mangler og hull i eksisterende forskning i Norge. Forskningsspørsmålene er utformet som

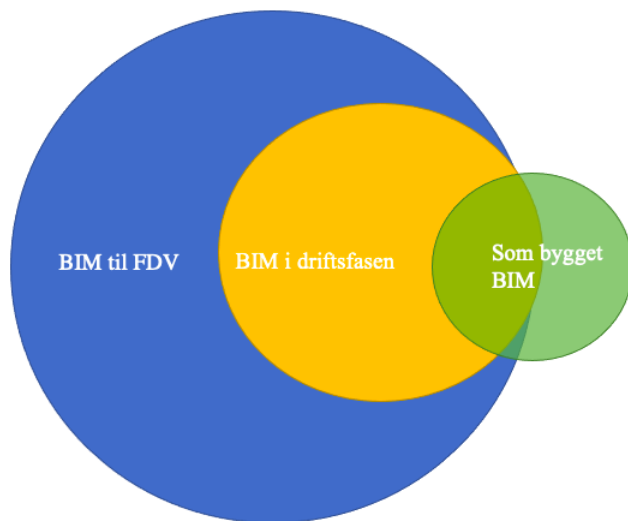
resultat av arbeidserfaringer, egen interesse i BIM og FDV, samt for å dekke mangel i dagens forskning og forståelse av temaet.

BIM er mindre utprøvd i jernbanesektoren enn byggsektor (Bawono, von Schumann og Lechner, 2020). For å bidra til videre utvikling, vil oppgaven undersøke nærmere hvordan det praktiseres i jernbanesektoren. Litteratur og håndbøker som er jernbanerelatert vil derfor bli gjennomgått. Eksisterende forskning som handler om bruk av BIM er ofte knyttet til byggebransjen. Empirier fra disse forskningene kan også være til nytte for oppgaven ettersom noen identifiserte utfordringer er felles både i byggeprosjekter og samferdselsprosjekter. Funn fra litteraturstudien og intervjuer vil diskuteres og drøftes ut ifra et jernbaneperspektiv. I tillegg er det utført undersøkelser i engelsk litteratur. For å begrense omfanget til litteraturstudien, er det benyttet TONE strategi for valg av kilder som vil beskrives nærmere i metodekapittel.

BIM og FDV vil være sentrale tema i masteroppgaven. I NS 3454:2013 er U (Utvikling) og S (Service) også blitt inkludert som en del av aktiviteter i driftsfasen. I noe forskning diskuterer man også P (Potensial) (Fuglesang, 2017). Bane NOR benytter begrep FDV i stedet for FDVU eller FDVU+S+P i deres teknisk regelverk og styredokumenter (Bane NOR, 2019c). Oppgaven vil derfor kun benytte begrepet FDV.

For at terminologi og uttrykk benyttet i oppgaven skal være entydig for leseren, er det utarbeidet figur 1 for å skille definisjoner mellom «som bygget»-BIM, «BIM i driftsfasen» og «BIM til FDV». Omfanget for BIM til FDV er større enn BIM i driftsfasen ettersom BIM allerede kan brukes til å simulere og optimalisere fremtidig anlegg i prosjekterings- og byggefasen ut ifra FDV perspektiv (Liu, 2012). I begrepet BIM til FDV legges det vekt på formålet som er knyttet til FDV i anleggets livsløp fra planlegging til drift og vedlikehold. BIM i driftsfasen har da fokus på driftsfasen. «Som bygget»-BIM er BIM-modell som samsvarer med det som faktisk er bygd og dokumenterer hva som er prosjektert og bygd på det tidspunktet. Dette er nødvendig for ansvarsfordeling ved en eventuell feil. En «som bygget»-BIM kan inneholde informasjon som ikke nødvendigvis skal brukes i driftsfasen. Det er kun den delen av informasjon i BIM som skal benyttes i driftsfasen som videreføres og

synkroniseres. BIM-modeller i driftsfasen kan berikes med mer informasjon og brukes til ulike formål.



Figur 1 Forholdet mellom «som bygget BIM», «BIM i driftsfasen» og «BIM til FDV»

FDV henger ofte sammen med engelske begrep «facilities management» og «asset management». «Facilities management» ifølge NS 3454:2013 og Bjørberg (2017) gjengitt i Fuglesang (2017) omfatter alle aktiviteter innen FDVUS. BIM til FDV vil derfor være den viktigste og sentrale delen av BIM til fasilitetsstyring (facilities management). I oppgaven anses uttrykkene «BIM til fasilitetsstyring» og «BIM til FDV» som synonym ettersom Bane NOR ikke benytter begrepet FDVUS.

«Asset management» og «facilities management» har ulike definisjoner etter NS-EN ISO 41011:2018 hvor facilities management har fokus på mennesker, sted, prosess og teknologi, mens «asset management» utøves på strategisk nivå som legges vekt på å ta riktige beslutninger og optimalisere disse prosessene. I oppgaven vil «facilities management» og «asset management» anses som synonym for at begge begrepene har samme formål (Love *et al.*, 2014).

1.5 Disposisjon

Oppgavens disposisjon presenteres som følgende:

Kapittel 1 – Innledning

I innledningen gis det en introduksjon på bakgrunn av valgt oppgave. Problemstilling og forskningsspørsmål presenteres i dette kapitlet.

Kapittel 2 – Metode

I kapitlet skal metoder som er brukt i oppgaven presenteres. Dette inkluderer forskningsdesign, fremgangsmåte og troverdighet til oppgaven.

Kapittel 3 – Litteraturstudie

Dette er et resultatkapittel hvor resultater til litteraturstudien presenteres.

Kapittel 4 - Intervju

Funn og resultater fra intervjuer presenteres i dette kapitlet.

Kapittel 5 - Diskusjon

I diskusjonskapitlet skal viktige funn fra litteraturstudien og intervjuene drøftes.

Diskusjonskapitlet vil gi faglig grunnlag for videre konklusjon.

Kapittel 6 – Oppsummering og konklusjon

I dette kapitlet vil konklusjonen til problemstillingen presenteres. Videre vil det gis anbefalinger for bedre implementering av BIM til FDV og forslag til videre forskningstemaer.

2 Metode

Metoden er et verktøy som hjelper man til å samle inn forskningsdata og fremskaffe kunnskap (Dalland, 2012). I dette kapitlet skal det gis en redegjørelse for bakgrunn av valgte metoder, fremgangsmåter og troverdighet.

2.1 Kvantitativ og kvalitativ metode

«Kvalitativ metode er forskningsmetode som brukes ved innsamling og analyse av kvalitative data. Dette er data som vanligvis foreligger i form av tekst, i motsetning til kvantitative data, som uttrykkes i form av tall eller andre mengdetemer» (Grønmo, 2020). Det legges vekt på data i kvalitativ forskning der intervjuobjekters meninger, egne forståelser, intensjoner og holdninger kan stå sentralt (Befring, 2007). Hensikten med metoden er å fange opp meninger og opplevelser som ikke lar seg tallfeste eller måle. I forhold til kvalitativ metode, gir kvantitativ metode data som kan måles (Dalland, 2012).

Oppgaven vil benytte kvalitativ metode som forskningsmetode da oppgaven baserer seg på empirier og eksisterende litteratur. Det er nevnt i tidligere kapittel at anvendelse av BIM i jernbanesektoren er fortsatt i en tidligfase i forhold til byggsektor, og BIM til FDV er også et mindre undersøkt tema (Fuglesang, 2017; Bawono, von Schumann og Lechner, 2020). Ved kvantitativ metode trenger man nok eksempler eller konkrete ting man vil måle. I dette tilfellet vil det være vanskelig å frembringe tilstrekkelig antall responser fra spørreundersøkelser. Det har heller ikke vært mulig å finne eksempler på jernbaneprosjekter hvor man har tatt i bruk BIM til FDV for å måle effekten kvantitativt. Ut ifra forundersøkelser som er gjort i forbindelse med utforming av problemstillingen vil kvalitativ metode passe bedre til forskningsformålet.

2.2 Forskningsdesign

Det skal benyttes kvalitativ tilnærming som introdusert i forrige avsnitt. Et forskningsdesign skal være en overordnet plan som forteller hvordan problemstillingen skal belyses og besvares (Hjelseth, 2020). Tabellen under viser forskningsdesignet for denne oppgaven.

Tabell 1 Oversikt over forskningsspørsmål og metode

Forskningsspørsmål	Metode
1. Hva er utviklingen nasjonalt og internasjonalt for BIM til FDV?	Litteraturstudie Intervju (nasjonalt)
2. Hvilke drivere finnes det for implementering av BIM til FDV?	Litteraturstudie
3. Hvilke bruksområder og fordeler finnes det for BIM til FDV?	Litteraturstudie Intervju
4. Hvilke utfordringer og muligheter finnes det for implementering av BIM til FDV?	Litteraturstudie Intervju

2.3 Intervju

Forskningsintervjuet er den meste utbredte kvalitative metoden (Brinkmann og Tanggaard, 2010). Ifølge Dalland (2012) har intervjuet som mål å innhente kvalitativ kunnskap, uttrykt med vanlig språk. Det finnes ulike varianter av intervjuer. Et strukturert intervju kan nærmest anses som en muntlig variant av spørreskjemaet mens et ustrukturert intervju utføres ofte med få planlagte spørsmål. Et ustrukturert intervju kan gi intervjueren større mulighet til å komme dypere inn i problemstillingen, men det vil stille store krav til at intervjueren må ha gode fagkunnskaper på det intervjuet skal handle om (Kleven, Hjordemaal og Tveit, 2011). Etter vurderingen er det valgt semistrukturert intervju som intervjumetode i oppgaven. Svarene til semistrukturerte intervjuer kan være åpne og intervju spørsmål utføres i rekkefølge som er tilsendt til intervjuobjekter på forhånd (Befring, 2007). Under intervjuer dukker det opp noen oppfølgingsspørsmål underveis og intervjuopplegget gjør det også mulig til å justere intervju spørsmål for å optimalisere datainnsamlingen.

2.3.1 Utvalgte intervjuobjekter

Man kan enten velge ut tilfeldige intervjuobjekter eller velge ut personer man mener har bestemte kunnskaper og erfaringer strategisk (Dalland, 2012). Det er benyttet strategisk utvalg av intervjuobjekter ut ifra deres arbeidserfaring og rolle i organisasjonen som er viktig for reliabiliteten til innsamlet data. Utdanningsnivå har derimot hatt mindre fokus, da utdanning kan ofte kompenseres med lang arbeidserfaring og intervjuobjekter kan ha rikelig med informasjon hentet fra arbeidsplassen. Det er totalt sendt ut 24 antall intervjuforespørsler direkte til potensielle intervjuobjekter. Over halvparten har takket nei pga. manglende kunnskap om forskningstemaet, andre har enten ikke svart, eller har henvist til en annen person de mener som har erfaringer med forskningstemaet. Det er til sammen utført åtte

intervjuer, men etter vurderingen er det besluttet å kun presentere resultater fra seks intervjuer.

2.3.2 Intervjuguiden

Ifølge Brinkmann og Tanggarrd (2010) er utgangspunktet for en god intervjuguide at emnet for intervjuet er noe som intervjueren selv og andre vil vite noe mer om.

Det er utarbeidet en intervjuguide som sendes på forhånd i god tid til utvalgte deltagere slik at de kan forberede seg før intervjuet. Intervjuguiden med alle spørsmål er lagt i vedlegg 1. Intervjuspørsmål kan varieres for intervjuobjekter som har ulike bakgrunn. I og med at utgangspunktet er et semistrukturert intervju så har spørsmålene også i noen tilfeller blitt justert underveis eller omformulert ved behov. I alle tilfeller har det i all hovedsak blitt tatt utgangspunkt den utarbeidede intervjuguiden.

2.3.3 Gjennomføring

For å identifisere praktiske utfordringer samt for å kartlegge behov og status hos byggherre, er potensielle intervjuobjekter som jobber i Bane NOR blitt kontaktet. Intervjuobjekter som er blitt kontaktet er BIM eksperter, prosjektering eller prosjektledere og FDV eksperter i driftsorganisasjon. Det er utført semistrukturert intervju med intervjuobjekter som har både kjennskap til BIM og FDV.

Intervjuer er utført på Microsoft Teams. Intervjuobjekter har fått intervjuguide tilsendt noen dager på forhånd og en agenda som viser hva som vil gjennomgås i intervjuet. Ved gjennomføring av intervju er det benyttet lydopptak med godkjenning fra intervjuobjekter slik at man kan sjekke om det er noen punkter som har blitt glemt i notatene. Lengde på intervjuene er satt 1,5 timer og alle intervjuer er utført mellom 1-1,5 timer.

2.3.4 Transkribering

Transkribering skjer få dager etter utførte intervjuer. Alle intervjuer er gått gjennom på nytt via lydopptak etter utførelsen for å sikre at alle viktige punkter er tatt med. Notatene er deretter sendt til intervjuobjektene til godkjenning og kvalitetssikring.

Informasjon i notatene er blitt sortert i kategorier som belyser de ulike forskningsspørsmål. Transkribering skjer få dager etter utførte intervjuer. Ifølge Thagaard (2018) kan man kategorisere og kode informasjon ved hjelp av deduktiv eller induktiv tilnærming. I oppgaven er det benyttet deduktiv tilnærming hvor man kategoriserer med begreper fra oppgavens forskningsspørsmål i et overordnet nivå for å fremheve sentrale mønstre (Thagaard, 2018).

Intervjuguiden og mal for transkribering er lagt ved om en ønsker å etterprøve og verifisere metoden.

2.3.5 Forskningsetikk

Forskningsetikk innebærer å ivareta personvernet for de som deltar i intervjuer eller forskning (Dalland, 2017).

Det er benyttet lydopptak for å kunne kvalitetssjekke notater senere samt for å holde intervjuflyten. Samtykke om opptaket er hentet fra intervjuobjektene i starten av et intervju. Intervjuobjektene har også blitt spurt om de ønsker å være anonyme. I oppgaven er det ingen intervjuobjekter som har uttrykket seg at de ønsker å være anonyme. Lydopptak og alle intervjumaterialer vil bli fjernet etter denne oppgaven er sensurert med tanke på personvern.

2.4 Litteraturstudie

Litteraturstudie er en forskningsmetode som innebærer at publisert forskning er hovedmateriale for forskningen (Befring, 2007). Søkestrategi og kildekritikk vil presenteres i følgende underkapitler.

2.4.1 Søkestrategi

Det er gjennomført et omfattende litteratursøk i de ulike plattformene som Oria, Google og Google Scholar. Det er også benyttet fagbøker i papirformat ettersom ikke alle kilder finnes i elektronisk versjon. Siden oppgaven skal undersøke forholdet i jernbanesektoren, vil Bane NORs styrende dokumenter og håndbøker også være sentrale kilder til forskningsarbeidet.

Utstrakt bruk av nøkkelord på norsk og engelsk i ulike søkemotorer er fremgangsmåten for denne masteroppgaven. Søkestrategi utføres som en kombinasjon av systematisk søk og tradisjonelt søk (Pedersen og Reidunsdatter, 2018). Søkeord som er benyttet for systematisk søk presenteres som følgende:

Tabell 2 Søkord benyttet i søkemotorer

	Hovedtema	Bruksformål/fase	Sektor
Søkeord på Norsk	BIM, Bygningsinformasjonsmodellerin g, Bygningsinformasjonsmodell	Bruksfase, driftsfase, FDV, Forvaltning drift og vedlikehold, fasilitetsstyring, eiendomsforvaltning	Jernbane, Infrastruktur, Samferdsel, Transport
Søkeord på Engelsk	BIM, Building information modelling, Building information modell	Operation and maintenance, Operation phase, Facilities (facility) management, FM, Asset management, AM	Railway, Infrastructure, Transport

For at søkeresultater skal være mest mulig relevant for oppgaven, kombineres det søkeord i forbindelse med et litteratursøk. Prinsippet fungerer slik at man kombinerer temaord BIM med prosjektfase eller bruksformål. For å presisere hvilken sektor man ønsker å undersøke, kan det legges sektor som f.eks. infrastruktur på slutten i et litteratursøk. Et søk kan f.eks. utføres slik: «BIM facilities management», «BIM operation maintenance» eller «BIM facilities management infrastructure». Etter at forskningsarbeidet kommer mer i dybden, utføres det søk også på undertema som f.eks. åpne formater, IFC, osv.

Hvert søk i søkemotor er utført både på norsk og engelsk ettersom det er et begrenset antall artikler på norsk som handler om BIM til FDV. Ved å utføre søk på engelsk, kan man få flere relevante kilder som er til nytte for oppgaven. I tillegg til anvendelse av søkemotor, er det også benyttet usystematisk/tradisjonelt søk som kjennetegnes at man følger kilder som er henvist i relevante forskning. Disse henvisningene kan også være interessant og relevant for dette forskningsarbeidet.

Selv om oppgavens søkestrategi består av systematisk søk og tradisjonelt søk, er alle kilder kritikkvurdert i oppgaven. Kildekritikk beskrives i neste underkapittel.

2.4.2 Prinsipp for valg av kilder

Alle innsamlede data som skal brukes i oppgaven er kilder. Det skal derfor stilles krav til disse, samt vurdere dem og gjør rede for hvordan de er blitt brukt (Dalland, 2012). For å

kunne vurdere kilders kvalitet og troverdighet er det brukt TONE strategi fra VIKO, NTNU (VIKO, u.å.). Tabellen under gir en oversikt over hva TONE strategi innebærer:

Tabell 3 TONE strategi (VIKO, u.å.)

Troverdighet	Kilder skal vurderes etter hvem forfatteren er, og hvilken institusjon forfatteren er knyttet til. Artikler som er fagvurderte, kan anses som troverdige. Man kan også vurdere kilder ut ifra hvor de er blitt publisert.
Objektivitet	Data presentert i kilder skal være objektivt og flere sider av saker skal være opplyst.
Nøyaktighet	Forskningsmetodikken er godt forklart. Informasjonen kan bekreftes av flere andre kilder samt at brukt data er oppdatert.
Egnethet	Data i kilder er relevant for denne oppgaven

Kildene brukt i denne masteroppgaven er presentert i referansekapittelet. I oppgaven er det prøvd å unngå anvendelse av informasjon fra nettsider hvor forfatteren ikke er opplyst.

Kildene benyttet i oppgaven er mest fra bøker eller fagvurderte artikler. Om en kilde er blitt henvist i flere forskning og er skrevet av en anerkjent forfatter kan den anses som en troverdig kilde. Kilders objektivitet og egnethet er også blitt tatt i betraktning. Noen kilder benyttet i oppgaven er fra tidligere årstall, men disse kildene har i alle tilfeller også blitt referert i annen nyere forskning og av denne grunn anses disse å fortsatt holde god kvalitet og relevans for forskningsspørsmålene.

2.5 Oppgavens troverdighet

Relevans til problemstilling og metodens pålitelighet er to kjernetegn når man skal vurdere datakvalitet (Dalland, 2012). Tilsvarende begrep validitet og reliabilitet er benyttet i vurderingen av kvaliteten på kvalitativ forskning.

2.5.1 Validitet

Validitet til resultatene i kvalitativ forskning innebærer hvordan man tolker data. Validitet innebærer i hvor stor grad fortolkninger er gyldige i forhold til virkeligheten. For å styrke validiteten kan man gjøre teoretisk grunnlag gjennomsluktig. Man kan også styrke validiteten ved å gå kritisk gjennom analyseprosessen (Thagaard, 2018). Intervjuspørsmål er laget målrettet mot forskningsspørsmål oppgaven skal besvare. Dette kan bidra til å få frem svarene som er relevant for denne oppgaven. Det er også utarbeidet noen kontrollspørsmål i intervjuguiden som formuleres litt annerledes, men kan hjelpe til å innsamle mer relevant

info. Spørsmål som «hva kan bidra til bedre interoperabilitet» og «hva kan bidra til bedre implementering for BIM til FDV» omtaler det samme temaet for å eventuelt få frem mere informasjon fra ulike vinkler. For litteraturstudie er egenhet et sentralt kriterium ved vurdering av kildekvalitet som kan sørge for høy validitet.

2.5.2 Reliabilitet

Reliabilitet presenterer graden av målepresisjon eller målefeil. Ved gjentatte målinger i forskningssammenheng vil det redusere forekomsten av feil til et minimum (Befring, 2007). For kvantitativ forskning hvor det utføres statistiske undersøkelser er det lettere å bevise reliabilitet. I oppgaven er det valgt å benytte kvalitativ metode som gjør at både intervjuobjekters meninger og intervjuerens fortolkninger kan påvirke resultater. Resultater presenterer også en «nå-situasjon». Reliabiliteten til oppgaven vil derfor være vanskelig å bevise, da det ikke kan garanteres at framstillinger vil være like ved gjentatte forsøk i senere tid.

For at oppgavens reliabilitet skal styrkes, kan man redegjøre for hvordan data er utviklet og samlet. Det vil si at man gjør forskningsprosessen gjennomiktig og beskriver hvordan man har kommet frem til resultater (Thagaard, 2018). I metodekapittelet er det beskrevet fremgangsmåter i detaljer, både i forhold til intervju og litteraturstudie for å styrke gjennomsiktigheten av analyseprosessen. Det er blant annet benyttet TONE strategi til å sørge for kvaliteten til valgte kilder. Ved utførelsen av intervjuer er notatene sendt til intervjuobjekter for kvalitetssikring. Ifølge Thagaard (2018) kan man også styrke reliabiliteten ved å presentere «primær data» som adskilles fra fortolkninger. Derfor er det valgt å benytte direktetat fra kvalitetssikrede notater for å kunne skille fortolkninger og primær data. Alle disse tiltakene er gjort for å styrke reliabiliteten til oppgaven.

2.5.3 Kildekritikk

Intervju

Intervjuer med intervjuobjekter som rådgivere eller entreprenører er ikke blitt inkludert i oppgaven. Dette gjør at man får kun empirisk data fra intervjuobjekter som kommer fra samme firma (Bane NOR). Det er sendt flere forespørsler til potensielle intervjuobjekter som har bakgrunn fra rådgivende firma eller entreprenørselskap, men mange takket nei pga. manglende erfaringer innen BIM og FDV i jernbaneprosjekter.

Årsaken til mangel på erfaringer kan potensielt være at det er lite implementert BIM til FDV i utbyggingsprosjekter og de fleste har lite erfaring med å integrere informasjon i BIM-modeller som skal brukes til drift og vedlikehold. Det er utført et intervju med et

intervjuobjekt fra rådgivende firma. Resultatet er ikke blitt presentert etter vurderingen på grunn av mangel på forskningsdata fra flere intervjuobjekter i samme kategori. Likevel vil det opplyses at det er opplevd informasjonsmetning selv om man har hentet inn et intervjuobjekt som har bakgrunn som rådgiver. I tillegg er det også utført et intervju med et intervjuobjekt fra en driftsorganisasjon som har gode kunnskaper om FDV men ikke noe spesiell erfaring om BIM. Etter vurdering blir resultatet til dette intervjuet også utelatt ettersom problemstillingen er for å belyse hvordan BIM kan brukes til FDV.

Forskningsarbeidet er basert på kvalitativ metode som gjør at datakvalitet og analyseprosess vil være hovedfokus. Derfor er det forsøkt i oppgaven å gjøre analyseprosessen og innsamling av data mest mulig transparent for å kunne øke troverdighet.

Litteraturstudie

Det er benyttet en god del engelske litteratur i oppgaven som kan potensielt være en feilkilde ettersom det ikke er målbart i hvor stor grad de internasjonale forskningene kan generaliseres i Norge. Det er likevel viktig å inkludere engelske litteratur i forskningsarbeidet fordi Norge er med på den globale utviklingen når det gjelder implementering av BIM og digitalisering.

3 Litteraturstudie

Kapittelet vil presentere resultater og funn fra litteraturstudien for å bygge et teoretisk grunnlag som er relevant for denne masteroppgaven.

Teorirammen vil basere seg på eksisterende litteratur og forskning. I forbindelse med litteraturstudien har man tilegnet seg kunnskap om BIM og FDV. Dette innebærer utviklingen, drivere, bruksområder, fordeler, muligheter og utfordringer angående implementering av BIM til FDV. Ved gjennomgang av håndbøker og standarder gis det et innblikk i dagens krav og status for BIM-modell som overleveres til Bane NOR.

Resultatene fra de semistrukturerte intervjuene vil presenteres i et senere kapittel. Funn fra litteraturstudien vil drøftes opp mot resultater fra disse intervjuene i diskusjonskapittelet.

3.1 Eksisterende forskning og litteratur

Fordeler med å ta i bruk BIM i ulike faser har blitt diskutert i de siste årene (Bryde, Broquetas og Volm, 2013; Charef, Alaka og Emmitt, 2018). Det fremkommer at i forhold til prosjekterings- og byggefasen ligger anvendelse av BIM i driftsfasen lenger bak (Liu og Issa, 2016). Etter litteraturstudien viser det seg at det er få artikler som belyser bruk av BIM til FDV i Norge og de fleste publiserte artikler er relatert til BIM for bygg og eiendomsforvaltning.

Blant en av de publiserte artiklene i Norge har Anne Fuglesang utført kartleggingsarbeid i 2017 for innhenting av empirier og litteratur ved bruk av BIM i driftsfase innen byggbransjen. I hennes forskningsarbeid er det fremstilt at manglende kunnskap og erfaring om BIM i driftsfasen kan føre til dårlig implementering av BIM ettersom de ikke er sikker på effekter og konsekvenser. Bruk av BIM i driftsfasen er også et tema som er lite diskutert og forsket på ifølge Fuglesang (2017). Ustandardisert fagspråk, manglende kompetanse og kjennskap til BIM blant driftspersonell, ikke spesifikt informasjonskrav i BIM-modellen, dårlig interoperabilitet mellom BIM og FDV-system samt manglende samarbeid mellom ulike aktører kan by på utfordringer for implementering av BIM i driftsfasen ifølge Fuglesang (2017). I tillegg påpeker hun at driftsorganisasjon har begrenset involvering i BIM-modellering. Videre presiserer Fuglesang at driftsorganisasjon må involveres på et tidligere stadium. Dette er blitt undersøkt nærmere på i denne oppgaven.

Det er i tillegg gjennomført litteratursøk på engelsk for å finne relevante forskning innenfor BIM til FDV for å kunne danne et enda bedre oversiktsbilde. Becerik-Gerber *et al.* (2012) har blant annet diskutert hvordan BIM kan brukes til fasilitetsstyring. Utfordringer og muligheter

for implementering av BIM til FDV i samferdselsprosjekter er også fremkommet i Costin *et al.* (2018). I forskningsarbeidene til Liu (2012) og Liu & Issa (2016) har de kommet med konseptet D4M (design for maintenance) samt diskutert generelle forhold om hvordan BIM kan benyttes til fasilitetsstyring. Oppgaven er også basert på forskningsarbeid Matarneh *et al.* (2019) har utført hvor de har kartlagt status angående utviklingen innen BIM til fasilitetsstyring fra 2008 til 2018. Bøkene «BIM Handbook» utviklet av Eastman *et al.* (2011) og «Building information modeling» utviklet av Borrmann *et al.* (2018) har også blitt brukt for å tilegne generelle kunnskaper og bli kjent med relevante temaer innenfor BIM for fasilitetsstyring. Andre kilder er også brukt i oppgaven i form av forskningsartikler, bøker, rapporter, standarder osv. Eksisterende forskning og litteratur nevnt over vil være en del av sentrale kilder for dette forskningsarbeidet.

3.2 Forvaltning, drift og vedlikehold av jernbaneinfrastruktur

Etter at en jernbanestrekning er ferdigstilt, overleveres anlegget videre til infrastrukturforvalter- Bane NOR. Bane NOR har ikke bare ansvar for planlegging og utbygging av jernbaneinfrastruktur, men også forvaltning, drift og vedlikehold av det nasjonale jernbanenettet. Ifølge SN/TS 3456:2018 fremstår forvaltning, drift og vedlikehold som følgende:

Forvaltning omfatter alle administrative oppgaver som er i tilknytning til teknisk og økonomisk styring av anlegget og tilhørende uteområder. Aktiviteter innenfor forvaltning kan være knyttet til internkontroll, forsikring, planlegging, avtaler for anleggets bruk, drift og vedlikehold samt økonomi (Standard Norge, 2018).

Drift omfatter kombinasjon av tekniske administrative og styringsrelaterte tiltak for å opprettholde anleggets funksjon og optimal drift. Aktiviteter innenfor drift kan være rengjøring, inspeksjon, driftskontroll, regulering av tekniske anlegg og oppgaver som snømåking eller lignende (Standard Norge, 2018).

Vedlikehold omfatter kombinasjon av tekniske administrative og styringsrelaterte tiltak gjennom livssyklusen til en anleggsdel, for å opprettholde anlegget og de tekniske

installasjoner på et fastsatt kvalitetsnivå i tiltenkt levetid. Aktiviteter innenfor vedlikehold kan være overflatebehandling eller utskiftning av komponenter (Standard Norge, 2018).

Drift og vedlikehold har stor betydning for et effektivt, transportsikkert og samfunnssikkert transportsystem og er derfor høyt prioritert av Jernbanedirektoratet (Hjelde *et al.*, 2020).

Tabell under viser levetid til de ulike jernbanekomponentene:

Tabell 4 Jernbane komponenters levetid (Jernbaneverket, 2015)

Infrastruktur komponenter	Levetid
Underbygning	100 år
Overbygning	40 år
Elektroanlegg	40 år
Signalanlegg	25 år
Kontaktledningsanlegg	70 år

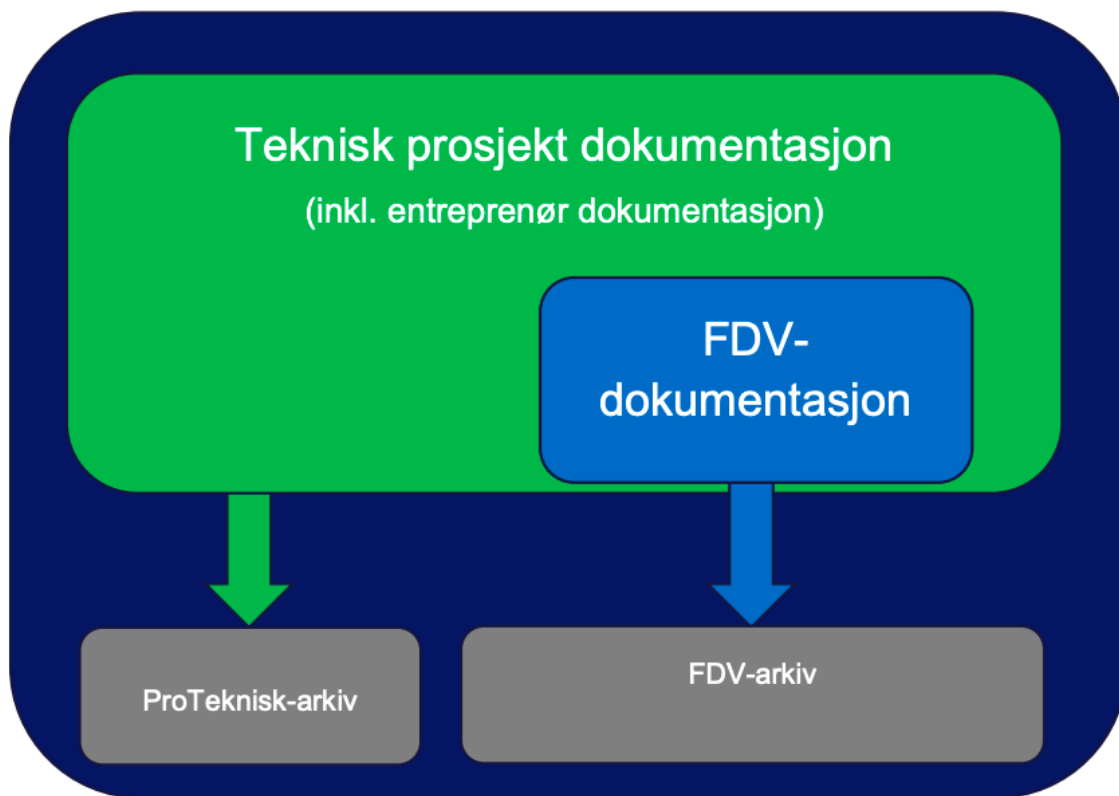
Det tar tilsammen 12 år fra planlegging til ferdigstillelse av 270 km dobbeltspor i Intercity utbygging (Bane NOR, u.å.). Tabell 4 viser at alle elementene til jernbaneinfrastruktur har vanligvis en lang levetid på minst 25 år. Samfunnsøkonomisk analyse for drift og vedlikehold av jernbane som er spilt inn i NTP har en analysens periode i 40-årsperspektiv (Hjelde *et al.*, 2020). Dette tilsier at drift- og vedlikehold har en stor betydning tidsmessig i livsløpet til en jernbaneinfrastruktur sammenlignet med planlegging og bygging.

Kostnadmessig utgjør drift og vedlikeholdskostnader ca. 60% av totale livskostnader til et anlegg (Liu, 2012; Rae, Gledson og Littlemore, 2019). I 2019 brukte Bane NOR 8,1 milliarder kroner på drift og vedlikehold (Riksrevisjonen, 2020). Derfor er det viktig å involvere driftsorganisasjonen i en tidligfase, noe som vil gi langvarige gevinster og kostnadsbesparelser for infrastruktureier i drift og vedlikeholdsfasen (Rae, Gledson og Littlemore, 2019).

3.2.1 FDV-dokumentasjon

FDV-dokumentasjon er den dokumentasjonen som skal overleveres til anleggsforvalter når anlegget er ferdigstilt, men det er ikke all dokumentasjon som overleveres som kan anses som FDV-dokumentasjon ifølge Bane NOR: «Omfanget av FDV-dokumentasjon skal begrenses til det som er nødvendig for å utføre drift-, vedlikehold og forvaltningsoppgaver i

driftsperioden» (Bane NOR, 2019c). Figuren under viser grensesnitt mellom ulike dokumentasjonstyper og dokumentarkiv hos Bane NOR:



Figur 2 Omfang av teknisk dokumentasjon som er arkiverdig (Bane NOR, 2019c)

ProArc er Bane NORs dokumenthåndteringssystem som inneholder flere dokumentarkiv. Både ProTeknisk-arkiv og FDV-arkiv er lagret i ProArc. Driftsinformasjonssystem og 3D-modeller følger ikke denne prosedyren for arkivering av teknisk dokumentasjon (Bane NOR, 2019c).

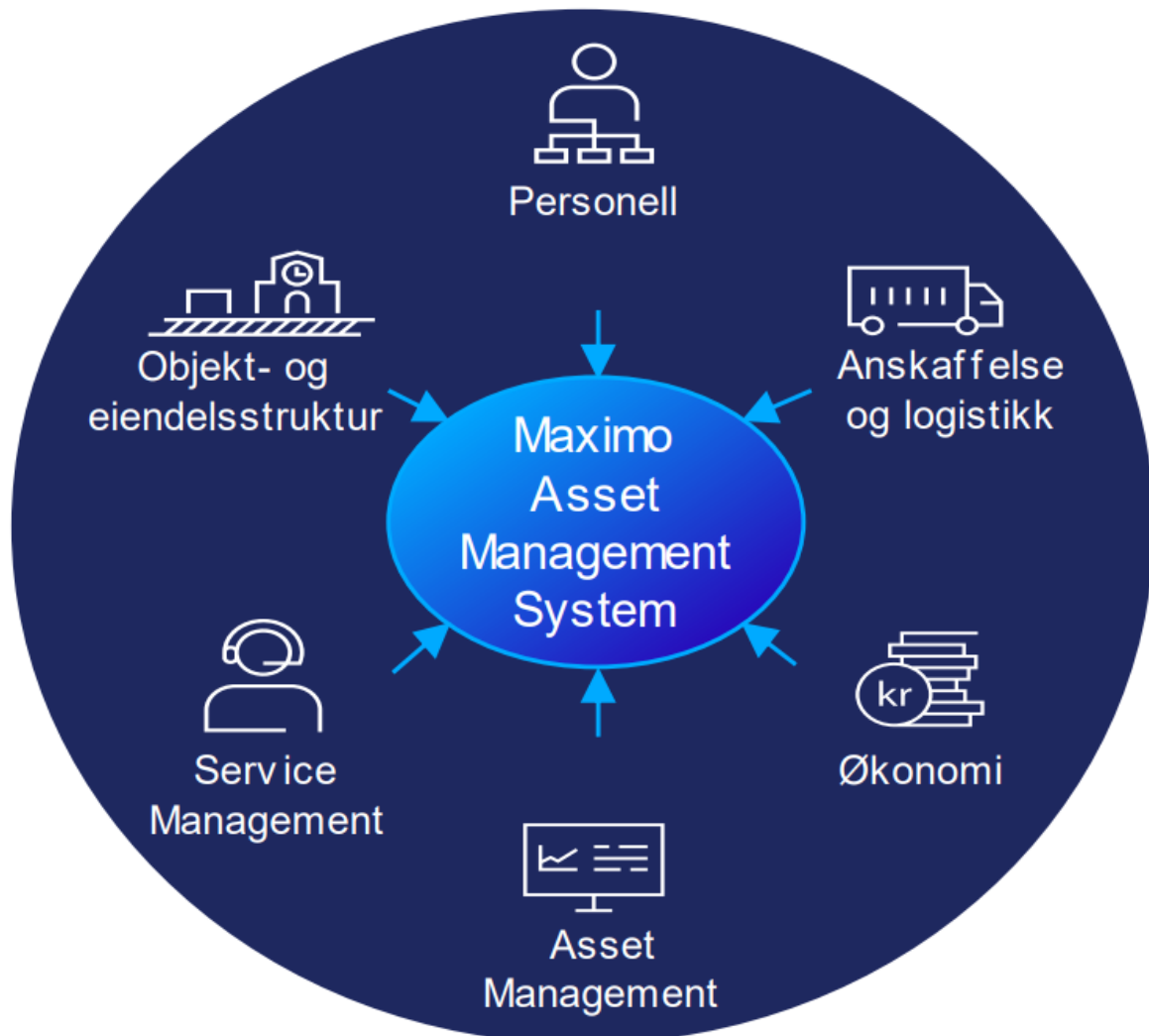
Som nevnt i tidligere delkapittel utgjør drift og vedlikehold en stor del av anleggets livssyklus både kostnadmessig og tidsmessig. FDV-dokumentasjon vil derfor spille en viktig rolle i driftsfasen. Mangelfull dokumentasjon av anlegget kan medfølge store kostnader i senere tid. Avklaring om hvilken informasjon som skal overføres må gjøres så tidlig som mulig slik at kravene blir kontraktfestet (Becerik-Gerber *et al.*, 2012).

3.2.2 Drift og vedlikeholdssystem

For å kunne drifte og vedlikeholde et anlegg trenger man FDV-dokumentasjon i FDV-arkivet, samt erfaringer og kunnskap fra driftsorganisasjonen i tillegg til verktøy for fasilitetsstyring (Gao og Pishdad-Bozorgi, 2019). Informasjonen i driftsfasen distribueres ofte mellom ulike fasilitetsstyringsverktøy som f.eks. datastyrt vedlikeholdsstyringssystem (CMMS),

datamaskinstøttet fasiliteter (CAFM) og bygningsautomatiseringssystem (BAS) (Matarneh *et al.*, 2019).

Bane NOR benytter datastyrt vedlikeholdssystem IBM Maximo for fasilitetsstyring (Bane NOR, 2020c; IBM, 2020). BaneData er Bane NORs infrastrukturdatabase og er lagret i Maximo. Derfor benyttes BaneData og Maximo ofte som synonymt om hverandre. Figuren under viser hvilke funksjoner Maximo støtter i driftsfasen.



Figur 3 Maximo - Bane NORs drifts og vedlikeholdssystem (Bane NOR, 2020c)

CMMS verktøy som Maximo kan gi driftsorganisasjon støttende vedlikeholds rapporter og feilstatuser. Det er imidlertid vanskelig å finne rotårsaker til et avvik basert på informasjon i et CMMS system, dette på grunn av kompliserte forhold mellom objektene og systemene. BIM som prosess og informasjonbærende modell åpner muligheter for å lage, dele, utveksle

og administrere informasjon gjennom hele anleggets livsløp og kan potensielt løse utfordringer som er knyttet til drift og vedlikehold (Motamedi, Hammad og Asen, 2014).

3.3 BIM

BIM har blitt gradvis implementert på verdensbasis innenfor bygg, bru, tunnel, veg og jernbane i de siste årene (Bawono, von Schumann og Lechner, 2020). BIM er forkortelse for bygningsinformasjonsmodellering eller bygningsinformasjonsmodell. NBIMS (National BIM Standard) i USA definerer BIM i tre kategorier (Eastman *et al.*, 2011):

- Et produkt
- En samarbeidsprosess
- Et styringsverktøy for å understøtte fasilitetsstyring

Ifølge NIBS har BIM følgende egenskaper:

Building Information Modeling (BIM) is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. A BIM is a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as existing from earliest conception to demolition (NIBS, u.å.).

I bygg og anleggsbransjen er BIM ofte omfattet som en tredimensjonal modell, men i forhold til en vanlig 3D-modell inneholder BIM-modeller nødvendig informasjon som danner grunnlag for hele anleggets livssyklus ut ifra definisjonen til NIBS.

3D BIM

En tradisjonell 3D-modell er en skalert modell som illustrerer konstruksjonen tredimensjonalt i en programvare. BIM-modell i forhold til en tradisjonell 3D CAD modell er beriket med geometrisk og funksjonell informasjon til et anlegg gjennom dets livssyklus. Det er ofte informasjon i BIM som blir først og fremst brukt til planlegging, prosjektering og bygging (Ding, Zhou og Akinci, 2014).

4D BIM

BIM kan utvikles til 4D hvis man setter tid i perspektiv. 4D BIM kan f.eks. brukes til planlegging av fremdrift i prosjekteringen. Ved å benytte 4D BIM kan man optimalisere koordineringsarbeid i byggefaseplan og visualisere timeplan (Umar *et al.*, 2015). Ved 4D BIM knytter man hver anleggskomponent til den planlagte byggetiden i modellen, noe som kan hjelpe til å verifisere bygge rekkefølgen og plassen. Potensielle konflikter kan derfor

oppdages, og logistikk for transport er også lettere å organisere. Det hjelper entreprenøren til å jobbe mer effektivt. Usikkerhetskostander vil som følge av god planlegging minskes (Borrmann *et al.*, 2018).

5D BIM

Når kostnadsinformasjon er lagt til er det 5D BIM. Det å estimere budsjett til prosjekter kan være vanskelig når det kommer stadig vekk endringer som f.eks. er knyttet til timeforbruk, prosjektendring, endring av byggematerialer osv. Ved å benytte 5D BIM kan man koble kostander til modellen for å se hvordan kostnader og budsjett vil bli påvirket ved endringer over tid (Borrmann *et al.*, 2018).

BIM i nD-dimensjoner

BIM som har flere enn 5 dimensjoner er ofte definert som nD BIM og det finnes ikke en felles definisjon for nD BIM (Vycital og Jarský, 2020). nD BIM har hovedsakelig to bruksområder. Enkelte forskere har benyttet nD BIM til å definere modellens modenhetsnivå (Ding, Zhou og Akinci, 2014) mens andre definerer nD BIM som BIM med utvidet dimensjoner (Charef, Alaka og Emmitt, 2018). I et nettforedrag avholdt av Tekna jernbane hvor Bane NOR har omtalt 6D BIM for miljøstyring og 7D for modellbasert FDV oppfølging i prosjektet KIM (introduseres i senere kapittel) (Tekna, 2020).

3.3.1 MMI – Modell Modenhet Indeks

MMI står for Modell Modenhet Indeks. I Norge har Maskinentrepenørenes Forbund (MEF), Rådgivende ingeniør forening (RIF) og Entreprenør forening bygg og anlegg (EBA) sammen utarbeidet en MMI-manual for samferdsel. Ifølge MMI manual kan MMI beskrive modningsgraden av objektene i BIM-modeller ved bruk av omforente tallkoder med tanke på geometri og informasjonsinnhold. Figuren under viser de 6 forskjellige MMI-nivåene i et samferdselsprosjekt:



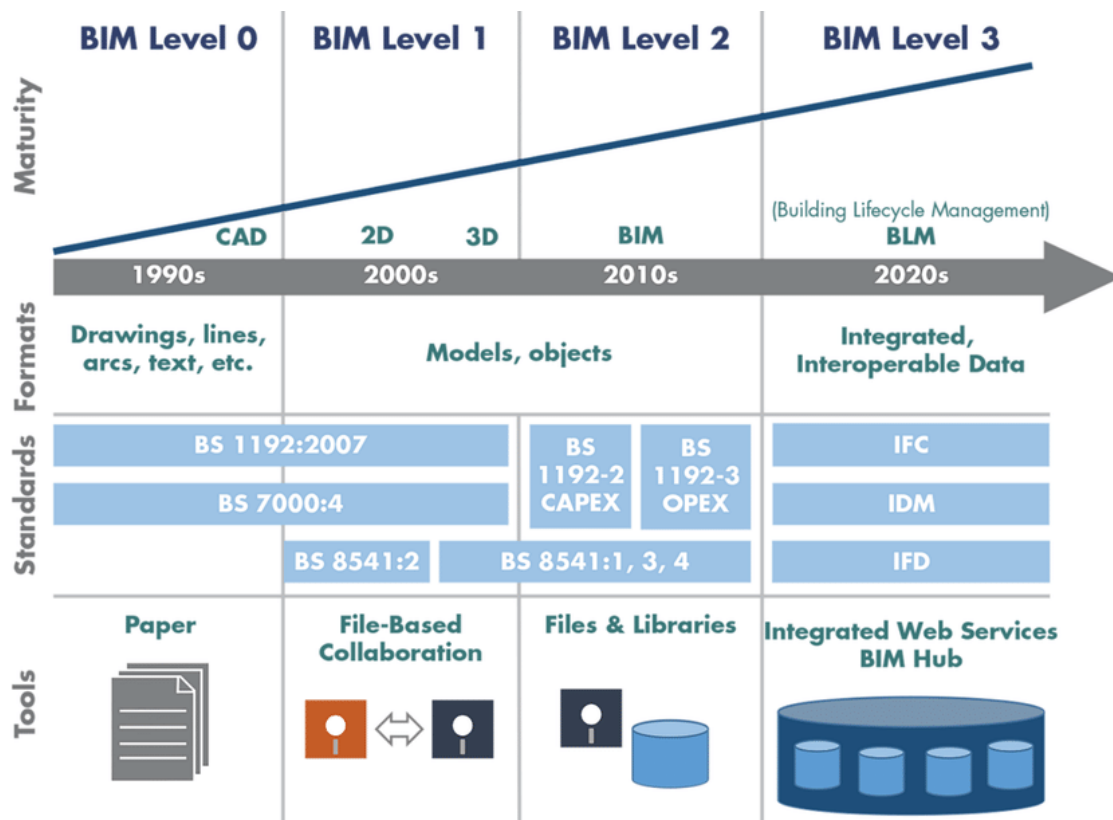
Figur 4 Modell modenhet Index for samferdsel (Norheim *et al.*, 2020)

Hvert MMI-nivå inneholder en beskrivelse av detaljeringsgrad til objekter, geometri samt hvilken informasjon objekter skal inneholde (Norheim *et al.*, 2020). En forutsetning til MMI er at den kan reflektere både geografisk og ikke-geografisk informasjon som er relatert til modellbasert leveranser. MMI kan derfor bidra til standardisering av modelldefinisjoner samt

lette kommunikasjon og skape felles forståelse for modellmodenhet og fullstendighet (Garcia *et al.*, 2018). Ifølge Garcia *et al.* (2018) kan det legges til et ekstra indeks - MMI 600 for fasilitetsstyring som innebærer at man legger inn dokumentasjon som kan understøtte fasilitetsstyring i modeller. Dette kan være f.eks. driftsmanual, dokumentasjon for forebyggende vedlikehold eller sensordata.

3.3.2 BIM nivå

BIM nivå er utviklet av Mark Bew og Mervyn Richards og er først benyttet i England for å definere modenhet til anvendelse av modellinformasjon og graden av samhandling mellom prosess og verktøy (Sacks *et al.*, 2018). Figuren under viser egenskaper til de fire BIM-nivåene.



Figur 5 BIM modenhetsnivå utviklet av Mark Bew og Mervyn Richards (Sacks *et al.* 2018, s. 15)

BIM nivåene beveger seg fra nivå null hvor man utveksler informasjon ved hjelp av tradisjonelle 2D-tegninger og dokumenter i papirformat eller i noen få tilfeller digitalt via PDF til nivå tre hvor alle fagdisipliner kan samarbeide fullstendig og jobbe i en felles modell lagret i en sentralisert skybasert database. I nivå tre eliminerer man risikoen for informasjonskonflikt ved at endringer skjer synkronisk i en felles modell som alle interessenter i et prosjekt har tilgang til. BIM i nivå tre blir også kalt som «åpenBIM» (Sacks

et al., 2018). ÅpenBIM baserer seg på åpne formater som f.eks. IFC og er leverandørnøytral (buildingSMART, u.å.-a)

Ifølge Sacks *et al.* (2018) praktiserer enkelte selskap BIM nivå én som innebærer at modeller er kun brukt for konseptvalg og det er videre 2D-tegninger og dokumenter som prosjektene forholder seg til. Modeller i dette trinnet deles ikke mellom fagdisipliner. I nivå to øker samarbeidet mellom fagene mer, og alle fagdisiplinene jobber med sine egne modeller. I forhold til nivå tre jobber man ikke i en felles BIM-modell i nivå to. I nivå to er man avhengig av filformater til å samle inn modellinformasjon i flere BIM-modeller til en samlet modell for kontrollsjekk eller tilsvarende. Myndighetene i England hadde et mål om at offentlige byggherrer skulle benytte BIM nivå 2 innen 2016. Modellinformasjon skulle så utveksles i åpne filformat som f.eks. IFC eller Cobie (Sacks *et al.*, 2018). Filformater vil bli introdusert i senere kapittel.

I Bane NORs håndbok for digital planlegging er det blant annet beskrevet at fagene skal prosjektere og jobbe i egne fagmodeller som viser spesifikke objekter og elementer for hvert fag. Alle fagmodellene skal legges inn i en samlet modell som kalles samordningsmodell med et felles koordinatsystem. I tillegg opplyser Bane NOR i håndboka at det ikke finnes systemer som knytter informasjon til objekter per i dag og at de støtter utviklingen av åpne formater. Inntil disse åpne formatene er tilgjengelige for alle fag i samferdsel benyttes det andre formater etter avtale i prosjekter (Bane NOR, 2021a). Beskrivelser for BIM-modeller i håndboka kjennetegnes som BIM i nivå to hvor fagene jobber med egne modeller som legges inn i en samlet modell. Utveksling av informasjon går via felles filformater. Dette kan tyde på at Bane NOR ønsker å praktisere BIM på nivå to i modellbasert jernbaneprosjekter per dags dato. Likevel kan ikke konklusjonen trekkes ettersom praksis kan variere fra prosjekt til prosjekt og er avhengig av prosjektets størrelse, kompleksitet, kunnskap og entreprisform.

3.3.3 Data utvekslingsformat

Informasjon ifølge Eastman *et al.* (2011) kan utveksles i tre ulike måter mellom systemene: via APIer, proprietære formater eller åpne offentlige formater.

API står for Application Programming Interface. Det å utveksle informasjon via et API omfatter å benytte API til å hente ut data fra en programvare og integrere dataene til en annen

programvare. Denne typen utveksling er ofte basert på programmeringsspråk som C++ eller C# (Eastman *et al.*, 2011).

Et proprietære format er et filformat utviklet av en kommersiell organisasjon og er vanligvis konfidensielt. Utveksling av data i proprietære formater krever at man benytter bestemte programvarer (Eastman *et al.*, 2011). DWG format er et proprietært format som er også det mest utbredt filformat i jernbaneprosjekter. Filformatet er utviklet av Autodesk og brukes til å lagre to- og tredimensjonale designata og metadata. Ifølge Bane NOR (2017) er DWG et sentralt format de bruker for overføring av data (Bane NOR, 2017).

Åpne formater omfatter å benytte åpne og offentlige språk som XML eller tekstfiler. IFC er et slik åpent format som ikke trenger bestemte programvarer for å kunne lese dataene (Eastman *et al.*, 2011).

Utvekslingsformater henger ofte sammen med interoperabilitet. Interoperabilitet beskriver evnen til å utveksle data mellom programvarene og systemene, noe som kan lette arbeidsflyt og automatisering. Interoperabilitet kan sørge for at man slipper å kopiere data manuelt som allerede er generert fra et program til et annet program. Feil kan ofte oppstå ved manuell kopiering og derfor er interoperabilitet viktig for håndtering av stor mengde av komplisert data (Eastman *et al.*, 2011).

3.3.4 Åpne standarder

ÅpenBIM er som nevnt tidligere basert på leverandørnøytrale åpne formater som f.eks. IFC. Ifølge buildingSMART kan åpenBIM forbedre samarbeid mellom ulike aktører og gir fleksibilitet ved valg av programvarer. Den kan understøtte fasilitetsstyring og tilgjengeliggjøre prosjektdata som er generert i prosjektets livsløp (buildingSMART, u.å.-a). For at prosjekter skal klare å bruke åpenBIM i praksis, har buildingSMART utviklet tre standarder og krav som er basert på ISO standarder: Industry Foundation Classes -IFC, Information Delivery Manual - IDM og buildingSMART Data Dictionary - bsDD. buildingSMART er en fagnøytral interesseorganisasjon innen innovasjon og digitalisering for bygg og eiendomsbransjen. Ifølge buildingSMART muliggjør IFC sammen med bsDD og IDM bruken av åpenBIM som kan gi aktørene mulighet til å benytte og utveksle 3D-modeller med essensiell informasjon, entydige beskrivelser av objekter og støtteprosesser (buildingSMART, 2021). IFC rail, MVD, BCF og COBie vil i forbindelse med IFC også blir introdusert i kapittelet.

I tillegg finnes det åpnformatet GML som er utviklet av Open Geospatial Consortium (OGC) for utveksling av geografisk data. OGC er en internasjonal organisasjon som er eksperter innen geografisk informasjon (OGC, u.å.-a). Introduksjon av GML standarden vil komme på slutten av kapittelet med LandInfra og InfraGML.

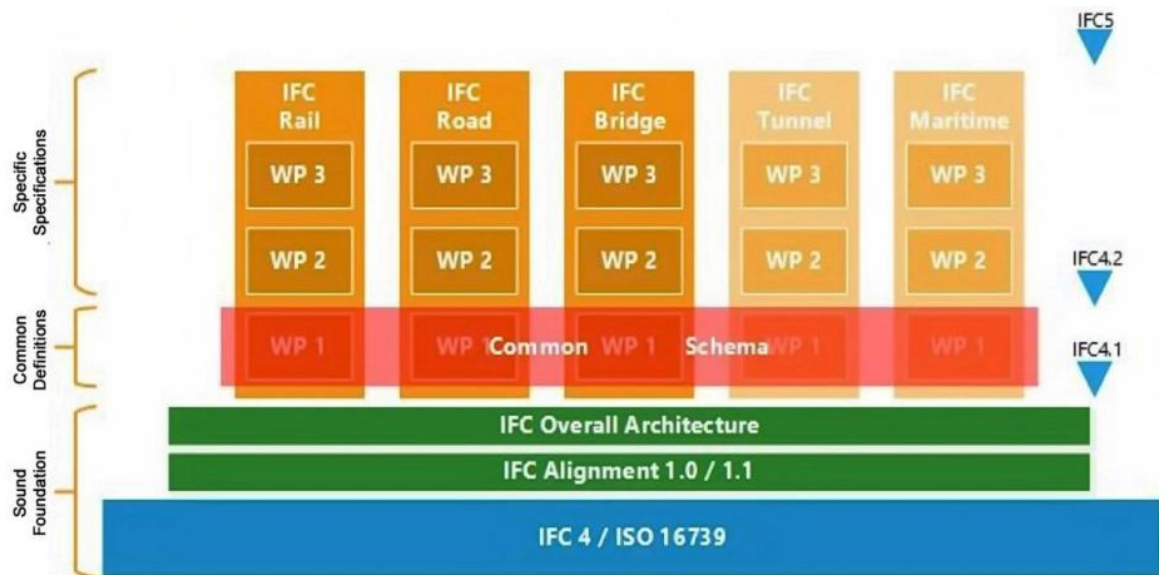
3.3.4.1 Industry Foundation Classes (IFC)

Industry Foundation Classes (IFC) er et åpent filformat for utveksling av BIM. Ifølge buildingSMART kan IFC formatet brukes slik at aktørene kan utveksle komplekse BIM-modeller uavhengig av programvare. IFC filformat baserer seg på internasjonal standard ISO 16739-1:2018 som er også utviklet av buildingSMART (buildingSMART, u.å.-b).

IFC Rail

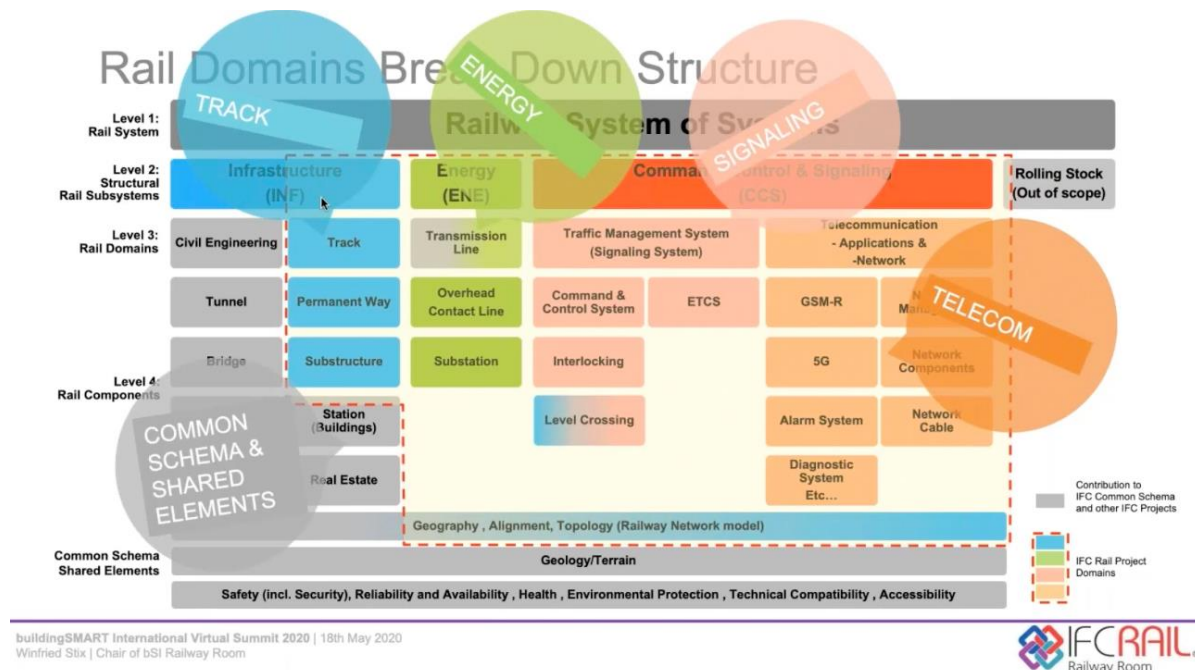
IFC 4 basert på ISO 16739 og IFC 4.1 er en overordnet standard som er spesial tilpasset for bygg. For at ISO standard for IFC skal kunne brukes for jernbane har buildingSMART utviklet IFC rail for jernbane. IFC rail er et internasjonalt samarbeidsprosjekt mellom ulike

organisasjoner (buildingSMART, u.å.-d). Figuren nedenfor viser hvordan de ulike IFC formatene er tenkt for infrastruktur prosjekter:



Figur 6 IFC Rail og ISO standard (buildingSMART, 2020)

Figur 7 viser nedbrytningsprosess og de viktige fagdisipliner: Spor, Strømforsyning (Kontaktledning, Høyspent og Lavspent), Signal, Tele og felles elementer som stasjonsbygning osv.



Figur 7 Omfang for detaljering av kravspesifikasjon for IFC Rail (buildingSMART, u.å.-d)

IFC standarden for jernbane er fortsatt under utvikling. Digitalisering av jernbanefag med datadrevet drift muliggjør forvaltning, drift og vedlikehold mer effektivt og enklere gjennom

dets livsløp. buildingSMART påpeker også at åpne formater er av interesse for byggherrer da dataeierskap vil være mere transparent (buildingSMART, 2019a).

MVD

MVD står for Model view definition. MVD brukes for å spesifisere datamodellutveksling. Ifølge buildingSMART: «En MVD-dokumentasjonen må beskrive hvilken delmengde av en IFC-datamodell som er nødvendig å ha med i en utveksling. Slik kan utvekslingen bli gjennomført i henhold til brukernes krav på informasjon» (buildingSMART, 2021). MVD er ofte kodet i mvdXML format og informasjonen i et mvdXML format er maskinlesbar (buildingSMART, u.å.-c).

BCF

BIM Collaboration Format er et arbeidsflyt- og kommunikasjonsformat som er koblet til IFC-modeller. BCF-formatet er basert på XML, og ideen er å kunne håndtere alle store og små saker underveis og sikre sporbarhet og historikk i modellen hele veien (buildingSMART, u.å.-c).

COBie

COBie står for Construction operations building information exchange. Det er vanlig at informasjon som understøtter drift og vedlikehold samles inn når et prosjekt er ferdigstilt (Eastman *et al.*, 2011), men det kan være dyrt å samle all FDV dokumentasjon på slutten av byggefasen på grunn av at en god del av FDV data må regenereres selv om det er levert tidligere (East, 2012, sitert i Liu, 2012, s. 35). COBie ifølge Borrmann *et al.* (2018) er ikke noe ny teknologi for datautveksling. Den er ofte basert på eksisterende åpne standarder som f.eks IFC og MVD. COBie kan samle all informasjon og data generert gjennom prosjekterings- og byggefasen til driftsorganisasjon. Den letter samlingsprosesser for generert prosjektdata (Liu, 2012). COBie kan også kategorisere og strukturere informasjon på en praktisk og enkel måte (Eastman *et al.*, 2011). Ifølge Liu (2012) og Eastman *et al.* (2011) har COBie interoperabilitet med CMMS system som Maximo. Maximo er Bane NORs drift og vedlikeholdssystem for jernbaneinfrastruktur som er introdusert i tidligere kapittel.

Selv om COBie kan bidra til å samle og strukturere informasjon driftsorganisasjon trenger, er det 88% som synes COBie ikke er så brukervennlig ifølge en undersøkelse utført av buildingSMART UK og Ireland i 2016 (Borrmann *et al.* 2018, s.178). Ifølge Borrmann *et al.*

(2018) er implementering av COBie fortsatt i tidlig stadium til tross for at konseptet er bredt akseptert.

3.3.4.2 Information Delivery Manual (IDM)

Information Delivery Manual (IDM) er en standardisert prosess og leveranse spesifisering som beskriver krav til leveranser fra de enkelte prosessene og kan bidra til effektiv samarbeid mellom fagene i prosjektets livsløp (buildingSMART, 2021).

3.3.4.3 buildingSMART Data dictionary (bsDD)

buildingSMART Data Dictionary (bsDD) er et nettbasert terminologibibliotek levert av buildingSMART. Man kan via bsDD API (API: introdusert i tidligere kapittel) få tilgang til bsDD som sammenkobler alt innholdet i databasen. bsDD kan sikre en standardisert arbeidsflyt som igjen sørger for god datakvalitet og samsvar mellom informasjon (buildingSMART, 2021).

3.3.4.4 GML

GML er et åpent format basert på XML for utveksling av geografisk informasjon. Ved bruk av regelbeskrivelsene for GML (GML-skjemaene) kan man lage GML-filer som inneholder geografiske objekter med punkter, linjer, polygoner eller andre grunnleggende geometrier (Norge digitalt, 2015; OGC, u.å.-a).

LandInfra/InfraGML

LandInfra er en standard som er bygget på LandXML og er utviklet av OGC. LandInfra er rettet mot infrastrukturanlegg som f.eks. veg og jernbane (OGC, u.å.-b). InfraGML er en GML basert koding standard som støtter infrastrukturfasiliteter spesifisert i LandInfra's konseptuelle modell (OGC, u.å.-b).

3.3.5 BIM-server

BIM-server eller bygningsmodellregister er et objektbasert databasesystem hvor man kan søke, overføre, oppdatere og administrere individuelle prosjektobjekter fra forskjellige applikasjoner. Det finnes tre ulike BIM-servere (Eastman *et al.*, 2011):

1. BIM-server for prosjektering og bygging. Serveren er prosjekterorientert.
2. BIM-server for å håndtere bestilling av prosjekterte objekter.
3. BIM-server for fasilitetsstyring som kan brukes til overvåking og driften av anlegget, med mulighet til å fange sensordata fra ett eller flere anlegg med sanntidsovervåking.

Et eksempel på prosjektorientert BIM-server er Trimble Quadri som er brukt i infrastrukturprosjekter. Trimble Quadri er en skybasert BIM-server og samarbeidsplattform som gir mulighet til å dele en sentral sømløs prosjektmodell mellom ulike interessenter (Trimble, u.å.).

3.3.6 Kravdatabase for BIM-krav

BIMQ er en kravdatabase for BIM-krav til IFC-modeller. Tjenesten leveres av tysk firma AEC3. BIMQ støtter å samle alle krav i kravsettet og hvert krav kan knyttes til en aktør. Kravsett kan være separate for hvert fag eller samles i et. Per i dag benytter Statsbygg BIMQ for sine kravsett og ifølge Statsbygg er kravene for hvert kravsett bygd opp per objekttype, kravtype, enkelt krav og eventuelt krav til verdier. BIMQ-databasen kan også eksporteres ut i både menneskelesbart format som PDF og maskinlesbart format i form av mvdXML. Ifølge Statsbygg vil BIM-modeller kunne eksporteres i IFC format for maskinvalidering. mvdXML kan benyttes for å kravsette modeller. Videre kan BCF benyttes for å rapportere feil og avvik mellom krav og modell (Statsbygg, 2021).

3.4 Digital planlegging i jernbanesektoren

Håndbok for digital planlegging utviklet av Bane NOR er et veiledende dokument for modellbaserte jernbaneprosjekter. I februar 2021, under skriveprosessen, ble Bane NORs håndboka revidert. I oppgaven er det valgt å referere både den nye og gamle versjonen av håndboka (fra 2017).

Ifølge Bane NOR skal prosjekterte modeller oppgraderes til «som bygget» status når anlegget er ferdigstilt etter at entreprenøren har kvalitetssikret innmålt data. «Som bygget»-modell skal gjenspeile og samsvare med det som faktisk er bygd. BIM-modeller kan supplere ekstra

informasjon i sluttdokumentasjon og gir bedre kontroll over det ferdige anlegget (Bane NOR, 2021a).

Metadata/Egenskaper

Ifølge Bane NOR (2017) skal alle objekter i en «som bygget»-modell få oppdatert metadata om type, tidspunkt, fabrikat, håndbøker og driftsinstrukser. I den nye reviderte versjonen har uttrykk metadata blitt erstattet av egenskaper i modeller. Egenskaper er tilleggsdata som vanligvis ikke legges direkte inn i modellen (Bane NOR, 2021a).

Objektbibliotek

For å forenkle prosjektering av modellbaserte prosjekter har Bane NOR utarbeidet et objektbibliotek som inneholder standard 3D objekter av jernbaneteknisk anlegg. Objekter er delt inn i to forskjellige kategorier: med eller uten metadata for de ulike jernbanetekniske fagene. Dette gjelder overbygning, kontaktledning, strømforsyning, tele, signal, underbygning, stasjoner, osv. (Bane NOR, 2020g).

Objektkode og merkesystem

Komponenter og objekter til tekniske fag skal merkes etter byggherres krav slik at det er mulig å sammenkoble objekter til assosierte tegninger og dokumentasjon. ID'ene til objekter skal være identiske og unike som gjør at det er mulig å gjenkjenne dem i hele anleggets livsløp for lettere forvaltning, drift og vedlikehold. Objektkode kan benyttes der det er relevant for merking ute i felt. Det er objekteier som definerer hvilken kodestruktur det skal benyttes og grensesnittet er prosjektspesifikt (Bane NOR, 2020e).

I Bane NORs styrende dokument for veiledning til objektkode er det beskrevet blant annet objektkode fra BaneData og Lydia. BaneData (Maximo) er vedlikeholdssystemet for jernbaneinfrastrukturen og Lydia er Bane NORs system for identifisering og vedlikehold av byggrelaterte objekter (Bane NOR, 2020e)

For jernbaneobjekter skal det merkes med objekt-ID som er generert fra Banedata (Maximo). Objekt-ID i BaneData består av fagkode, objekttype og løpenummer (Bane NOR, 2017; 2020e). Objektkode fra Lydia er basert på tverrfaglig merkesystem (TFM) som er utviklet av Statsbygg. Formålet med bruk av TFM er å optimalisere drift og vedlikehold av bygninger samt for å kunne referere eller henviser til objekter i tilhørende tegninger eller dokumentasjon (Statsbygg, 2017). Objekt-ID bygget etter TFM består av lokaliseringskode, systemkode og komponentkode. Merkingen beskriver objekters lokasjon, system og funksjon. Det er hovedsakelig objekter som tilhører bygg, elkraft, VVS installasjon, tele og automatisering

som skal merkes fysisk etter TFM (Statsbygg, 2017). Ifølge Bane NORs tekniske regelverk finnes det driftsmerking som også er vanlig å bruke for merking: «Driftsmerking er et benevningsystem for identifikasjon av anleggsdeler, spesielt høyspenningsbrytere, i forbindelse med drift av anlegget» (Bane NOR, u.å.-b).

3.5 Utviklingen for BIM til FDV nasjonalt og internasjonalt

Utviklingen på nasjonalt nivå vil forklares ut fra trender og status per i dag i jernbanesektoren. Tegningsløs arbeidsmetodikk har allerede blitt testet i bruprojektet som Randselva bru (Bygg.no, 2020). Med dagens teknologi er det mulig å implementere nødvendig informasjon man trenger i en BIM-modell for enkelte fag som f.eks. bruprojekter, slik at mindre dokumentasjon må arkiveres for FDV.

I oktober 2020 har Bane NOR sammen med Statens Vegvesen og Statsbygg utarbeidet et felles dokument hvor det stilles krav til informasjonsmodellering (KIM) for veg, bane og bygninger for totalentreprisene i fellesprosjektet for Ringeriksbane og E16 (FRE16). Dette omtales som KIM prosjektet i oppgaven. Bakgrunnen for KIM er at det ønskes entydige prosjekteringsleveranser på tvers av totalentrepriser og modellbasert FDV-informasjon for anleggenes livsløp (Bane NOR, 2020d). Utviklingstemaer i KIM vil derfor representere satsingsområder nasjonalt. En annen viktig trend er ISO 19650 og evt. oppdatering i ISO 19650 som er rettet mot BIM i driftsfasen. Oppgaven vil derfor inkludere dette i kapittelet.

Utviklingen internasjonalt vil forklares basert på den generelle utviklingen av BIM til fasilitetsstyring på verdensbasis i de senere årene.

3.5.1 Utviklingstemaer i KIM

KIM prosjektet er et prosjekt hvor samarbeid går tvers gjennom bransjer mellom både samferdsel og bygg. Prosjektet vil bidra til bedre samhandling og forståelse mellom ulike fagdisipliner og aktører. I KIM prosjektet er det tatt opp noen utviklingstemaer som er trender innenfor både bygg og samferdselssektor (Bane NOR, 2020d). Trender kan belyse bedre

hvilke temaer Bane NOR og andre aktører vil satse på i nærmeste fremtid. Utviklingstemaer er som følgende:

- Digital byggeplass
- Digital tvilling
- Modellbasert plattform (GIS/ BIM)
- MMI for status og fremdrift
- Semantisk web og linked data
- Modellbasert miljøoppfølging (6D)

BIM, 6D BIM og MMI er beskrevet i tidligere kapitler. I dette kapitlet vil det derfor introduseres utviklingstrender som digital byggeplass, digital tvilling, semantisk web og linked data. Digital byggeplass handler om planlegging og byggefasen, men på grunn av den tette sammenhengen mellom digital byggeplass og digital tvilling, vil disse temaene bli introdusert sammen.

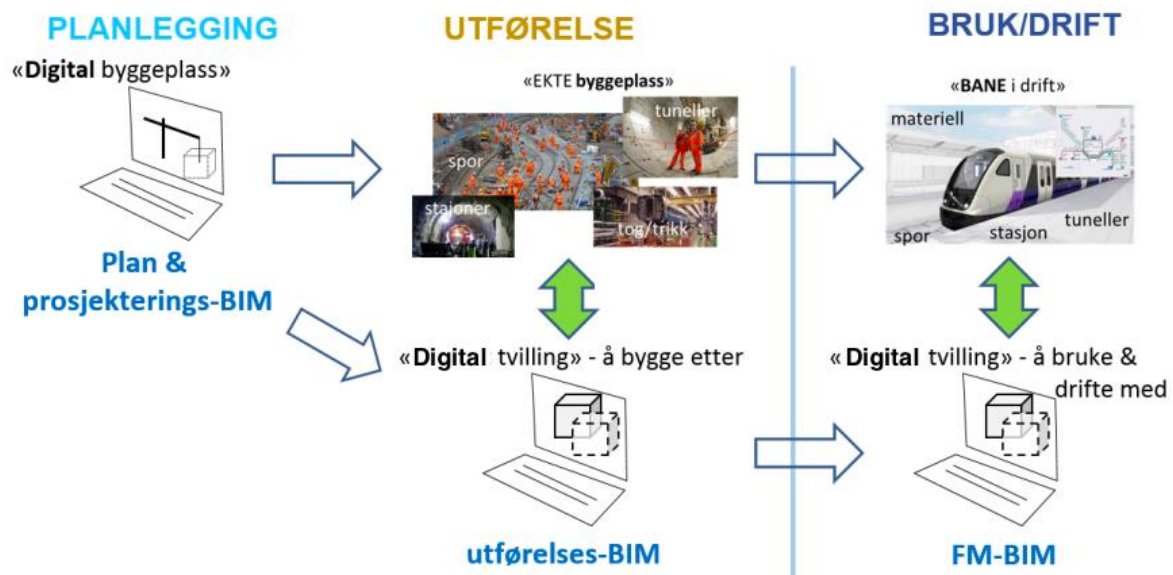
Digital byggeplass og digital tvilling

Ifølge Statsbygg er digital tvilling en digital representasjon av bygget som skal inneholde nødvendig informasjon eller referanse til informasjon som dekker alle behov gjennom byggets levetid (Statsbygg, 2019).

Byggenæringens Landsforening publiserte i 2017 en rapport – «Digitalt veikart» som kartlegger dagens digitaliseringstrender samt veien videre for heldigitalisering av næringen. I digitalt veikart er «digital byggeplass» og «digital tvilling» to sentrale begrep og konsepter. Med digital byggeplass kan en effektivisere og øke produktiviteten i prosjekterings- og byggefasen. I forhold til digital byggeplass, fokuserer digital tvilling på å forbedre samt effektivisere produktiviteten og arbeidsprosesser i driftsfasen. Digital tvilling vil være en ressurs for bruker (anleggseier) og driftsorganisasjon. Ved hjelp av digital tvilling kan fasilitetseiere optimalisere driften samt vedlikeholdsoppgaver bedre. Med den nødvendige informasjon kan også digitale tvillinger bidra til økt gjenbruk og resirkulering av råmateriale og komponenter, noe som igjen bidrar til bærekraftig drift og vedlikehold. (Byggenæringens Landsforening, 2017)

Figuren under illustrerer hvordan man benytter digital byggeplass og digital tvilling i en digital byggeprosess. Ved en digital byggeprosess lager man en digital tvilling som er identisk

med anlegget som skal bygges. Når prosjektet er ferdigstilt og overlevert, vil en kunne benytte digital tvilling til å drifte og vedlikeholde anlegget på en effektiv og smart måte.



Figur 8 Digital byggeplass og digital tvilling (Byggenæringens Landsforening, 2017)

Semantisk web og linked data

«Semantisk web» er et konsept som først er tatt opp av Tim Berners Lee. Konseptet innebærer at man laster opp data og dokumentasjon som blir behandlet slik at dataen blir maskinlesbar eksempelvis ved hjelp av de semantiske formatene RDF eller XML (Myrseth, 2013).

Semantisk web er en samling av data og dokumentasjon satt i system som maskinen kan på egenhånd håndtere (Berners-Lee, Hendler og Lassila, 2001). «Linked data» er metoden for å koble sammen maskinlesbar informasjon i semantisk web. Semantisk web teknologier vil gjøre integrering og sammenkobling mellom bygningsrelaterte systemer og BIM-modeller enklere. Dette kan bidra til å åpne isolerte informasjonssiloer til et bredere bruk. (Borrmann *et al.*, 2018).

3.5.2 ISO 19650

ISO 19650 er en internasjonal standard som inneholder prinsipper og krav for informasjonsforvaltning til et byggverk gjennom hele livsløpet ved bruk av BIM. Standarden skal ved anvendelse av BIM bidra til å effektivisere informasjonsstyring på tvers av prosjekter, organisasjoner og landegrenser og gir også veiledning på hvordan ulike aktører

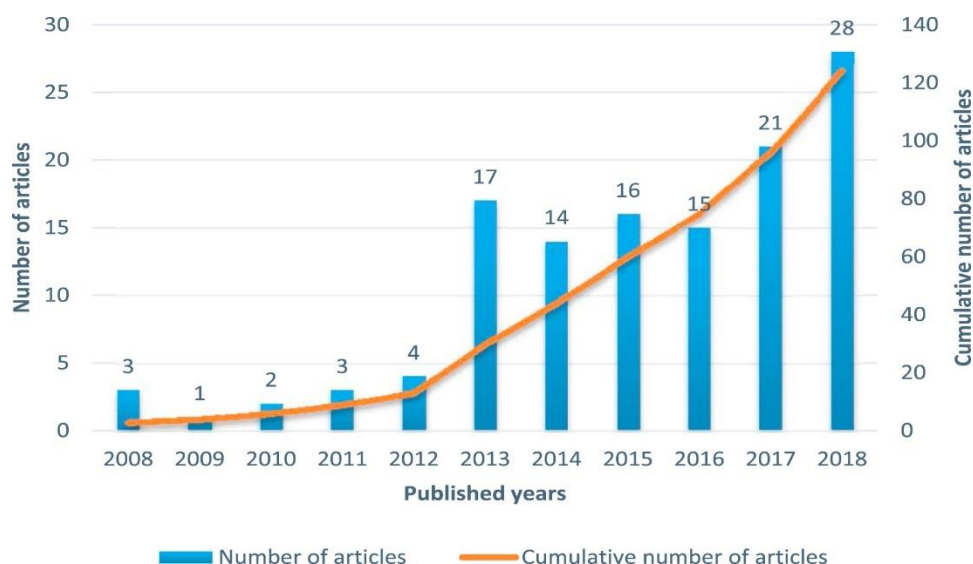
kan samhandle for å oppnå best informasjonsflyt gjennom alle faser i et prosjektets livsløp (Standard Norge, 2020).

I 2020 er ISO 19650-del 3: «driftsfasen til byggverk» blitt publisert av Standard Norge. Ifølge Norsk Standard kan den publiserte delen gjør det mer effektivt å spesifisere, produsere og levere informasjon til bruk i forvaltning og drift av anlegget. I tillegg til del 3 i ISO 19650 serien, er det også kommet oppdatering på del 5 – «informasjonsforvaltning med fokus på sikkerhet». Fuglesang (2017) har påpekt at sikkerhet rundt lagring av sensitiv data i BIM kan skape potensielle utfordringer. Del 5 i serien spesifiserer prinsipper og krav for sikker forvaltning av sensitiv informasjon. Oppdatering av del 5 i ISO 19650 vil derfor bidra til å minske risikoen for forvaltning av sensitiv informasjon (Standard Norge, 2020).

3.5.3 Utvikling internasjonalt

Bruk av BIM til FDV i Norge er i en mindre skala i forhold til det globale bildet. For å danne en bedre oversikt over status innenfor bruk av BIM til FDV globalt, vil oppgaven basere seg på en kartleggingsstudie som er gjort i 2019 og 2020.

En kartleggingsstudie utført av Matarneh *et al.* (2019) har ved hjelp av kvantitativ analyse gjennomgått 124 journaler publisert i Scopus fra ulike land i en tidsperiode fra 2008 til 2018. Figuren under viser en stigende trend angående antall publiserte artikler som er relatert til bruk av BIM til FDV. Dette tilsier at interesse og fokus for utvidet bruk av BIM til FDV øker fra år til år på verdensbasis.



Figur 9 Antall journaler publisert fra 2008 til 2018 relatert til BIM for FDV (Matarneh *et al.*, 2019)

Blant de 124 artiklene er det 11 som også er kartleggingsstudier. Temaene i kartleggingsstudier er ofte en oppsummering av eksisterende forskning og tas derfor ikke med

i statistikken under. Temaene som er tatt opp i de andre 113 artiklene er vist i tabellen under (Matarneh *et al.*, 2019):

Tabell 5 Oversikt over innhold og temaer for BIM til FDV 2008-2018 (Matarneh *et al.*, 2019)

Themes	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Information Management	1	1	2	1	1	7	4	4	5	11	10	47
BIM in FM	1	0	0	1	1	4	3	6	3	2	4	25
Maintenance Management	0	0	0	0	0	3	1	2	4	2	2	14
Energy Management	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	3	6
Existing Buildings' Audits & Surveys	1	0	0	1	1	1	2	1	0	0	2	9
Engagement of FM in Design Stage	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	5
Refurbishment/Retrofit	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	2	5
Health & Safety Management	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Total	3	1	2	3	4	17	12	17	15	16	23	113

Tabellen viser at informasjonshåndtering, BIM til fasilitetsstyring og BIM til vedlikeholdsstyring er sentrale temaer i disse artiklene. Matarneh *et al.* (2019) påpeker at eksisterende forskning fokuserer mer på BIM-basert teknologier for å effektivisere fasilitetsstyring enn å løse selve utfordringer knyttet til informasjonsstyring og utveksling, noe som er det viktigste for driftsorganisasjon. Videre hevder Matarneh *et al.* (2019) at BIM til fasilitetsstyring er å benytte BIM som en informasjonsdatabase for å håndtere interoperabilitet mellom de ulike FDV-systemene.

3.6 Drivere for utvikling

Typiske positive drivere som gjør at man er villig til å gå fra de arbeidsmetoder man er vant med til nye arbeidsprosesser er ofte knyttet til bærekraftig formål, innovasjonsbehov, etterspørsel og konkurranse (Owen *et al.*, 2013).

3.6.1 Innovasjon og bærekraftig formål

Det å planlegge, bygge, drifte og vedlikeholde jernbaneinfrastruktur på en bærekraftig måte er en del av Bane NORs strategi for 2019-2023 (Bane NOR, 2020h). I innovasjonsbølgen har Bane NOR uttalt seg som følgende: «Vi er i gang med det største teknologiske skiftet i jernbanens historie der den digitale jernbanen skal effektivisere samt gi en mer pålitelig og robust jernbane» (Bane NOR, 2020h).

Vedlikeholdsstyring og energiforbruk er to viktige ting som driftsorganisasjonen er mest opptatt av (Liu, 2012). Ifølge Becerik-Gerber *et al.* (2012) kan BIM benyttes til å utføre ulike vedlikeholdsoppgaver som inspeksjon og forebyggende vedlikehold. I jernbanesammenheng vil det være mere miljøvennlig og bærekraftig å utføre signal siktbefaring samt inspeksjon på en BIM-modell enn å kjøre fysisk langs jernbanestrekninger. Sammenlignet med et byggprosjekt går det mye tid til reising når det gjelder inspeksjon av en jernbanestrekning.

Det å kunne befare visuelt i en BIM-modell vil derfor bidra til besparelser på tid, kostnader og ikke minst miljø.

I BIM-modell kan man også ha info på komponenter som er mest utsatt for slitasje. På den måten kan man utføre forebyggende vedlikehold. I tillegg kan man ved hjelp av BIM identifisere rotårsaker til defekte komponenter for å deretter bruke dette til å optimalisere ytelsen på komponentene (Becerik-Gerber *et al.*, 2012; Gao og Pishdad-Bozorgi, 2019).

Bruk av BIM til FDV vil være en viktig del av digitalisering og innovasjonsrevolusjonen. Ønsker om å drifte og vedlikeholde jernbane på en bærekraftig måte samt behov for endring og innovasjon kan være viktige drivere for implementering av BIM til FDV.

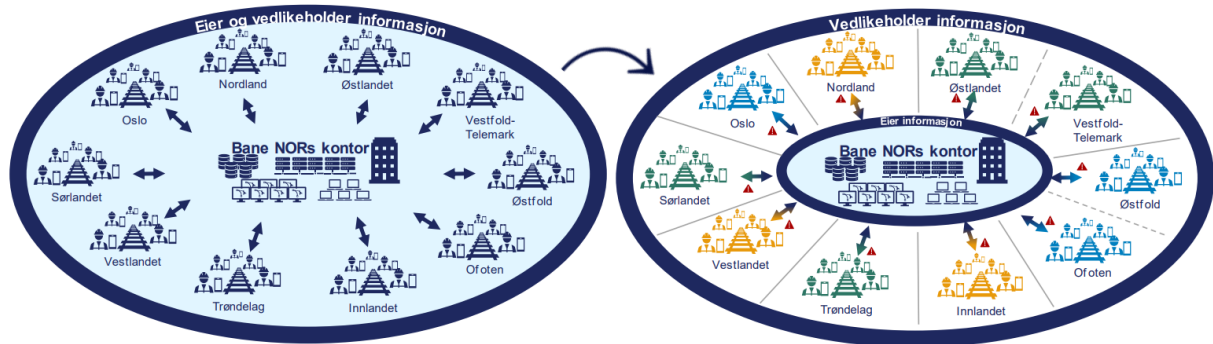
3.6.2 Etterspørsel og konkurranse

I en fersk rapport fra Riksrevisjon (2020) er det påpekt at det er et stort behov for Bane NOR å etablere et godt system til å måle produktiviteten i driften og vedlikeholdet av jernbanenettet. Driftsdata og økonomisk data er ikke koblet sammen som gjør det vanskelig å få oversikt over vedlikeholdskostnader og antall utførte vedlikeholdsoppgaver. Riksrevisjonen (2020) påpeker videre at driftsstabilitet ikke er blitt forbedret siden 2016.

Ifølge buildingSMART kan BIM brukes for mengdekontroll og gi grunnlag for kostnads kalkyler (buildingSMART, 2019b). Man kan også benytte visualisering- og analyseringsegenskaper som BIM har til å transportere driftsrådata til FDV-system. Rask tilgang til sanntidsdata og nødvendig informasjon i BIM kan man planlegge og optimalisere

drift og vedlikehold (Becerik-Gerber *et al.*, 2012). På den måten kan BIM støtte og forbedre dagens FDV og sørge for en driftsstabil jernbane.

Drift og vedlikeholdsorganisasjon i Bane NOR har blitt skilt ut til Spordrift AS. Fra 2021 skal Bane NOR konkurranseutsette arbeidet med drift og vedlikehold av jernbaneinfrastruktur (Samferdselsdepartementet, 2020). Ny driftsmodell er vist i figuren under:



Figur 10 Ny driftsmodell hos Bane NOR (Bane NOR, 2020c)

I tidligere driftsmodellen har Bane NOR ansvar for å eie samt vedlikeholde informasjon i driftsfasen. I den nye driftsmodellen vil vedlikeholdsoppgaver delegeres til ulike vedlikeholdsleverandører. Behovet for kontroll over driftsinformasjon kommer til å bli enda større enn tidligere da vedlikeholdsleverandører vil basere seg på eksisterende FDV dokumentasjon og driftsdata for gjennomføring av vedlikeholdsoppgaver.

Raske fremskritt og utvikling innen BIM kan gi nye muligheter til å forbedre prosesser i driftsfasen og optimalisere bruk av prosjektinformasjon gjennom hele prosjektets livssyklus (Becerik-Gerber *et al.*, 2012). Etterspørsel fra byggherrer for bedre kontroll over driftsdata samt konkurranse mellom ulike drift- og vedlikeholdsleverandører kan drive utviklingen og bruk av BIM i driftsfasen fremover.

3.7 Bruksområder og fordeler

Det er nødvendig å spesifisere hva informasjonen i BIM skal brukes til for å tydeliggjøre informasjonskrav. Når informasjonskrav foreligger, vil det bli enklere å samle inn informasjon i tidlige faser med spesifikke formål (Cavka, Staub-French og Poirier, 2017).

Bruksformål til informasjonen må derfor på plass for å kunne optimalisere informasjonsinnsamling.

Etter litteraturstudien er det kartlagt følgende bruksområder for BIM i driftsfasen og fasilitetsstyring. Fordeler vil presenteres sammen med bruksområder i hvert undertema.

Lokalisering av komponenter

For å igangsette forebyggende og korrigerende vedlikehold, må vedlikeholdspersonell kunne identifisere lokasjon av komponenter samt linke informasjon opp mot assosierte objekter for å både oppdage samt rette problemer. Det er tid og kostnadskrevende å lokalisere objekter som f.eks. kabler, rør og VA ledninger som vanligvis ikke er synlig. Ved å bruke en «som bygget»-BIM-modell kan vedlikeholdspersonell enkelt navigere i modeller for å lokalisere objekter. Navigeringsfunksjon i BIM vil fungere tilsvarende som en GPS-koordinat kombinert med kart som viser nærmiljøet. Det å tilgjengeliggjøre BIM-modeller i mobile digitale enheter vil minimere driftspersonells avhengighet av papirbaserte systemer eller behov for å komme på kontoret (Becerik-Gerber *et al.*, 2012). En enhetlig visualiseringsdatabase kan utformes ved å integrere GPS-data i et geografisk informasjonssystem (GIS). Databasen kan sørge for god datakvalitet og bidra til bedre kommunikasjon og beslutninger. Det å kombinere GIS og BIM kan også optimalisere ytelse og effektivitet i infrastrukturadministrasjon (Costin *et al.*, 2018). Et jernbanenett kan bestå av flere ti- til hundre kilometer jernbanestrekninger. Rask lokalisering og retting av feil kan bidra til høyere oppetid i jernbanenett.

Digital forvaltning, drift og vedlikehold med umiddelbar tilgang til info

For å utføre vedlikeholdsoppgaver må driftspersonell ofte benytte FDV arkivene der de må gå igjennom store mengder data. Dataene som er generert under drifts- og vedlikeholdsarbeid kan danne en informasjonsdatabase som kan overføres til BIM-modellen. Implementering av BIM gjennom hele prosjektets livsløp kan hjelpe driftsorganisasjon til å fange, digitalisere og transportere data til FDV. Hvis informasjon i BIM er nøyaktig og alle informasjonskilder samsvarer med hverandre, kan prosessen med implementering av data i modeller gå automatisk uten ekstra manuelt arbeid. Digital FDV-prosess kan løse utfordringer som er forårsaket av mangelfull FDV dokumentasjon ettersom data i prosjektets livsløp allerede er fanget og strukturert i BIM-modeller ifølge Becerik-Gerber *et al.* (2012). Effektiv og umiddelbar tilgang til informasjon i BIM kan minimere tiden og arbeidet som trengs for å lete etter informasjon i flere databaser. Drifts- og vedlikeholdspersonell kan raskt få tilgang til nødvendig informasjon ute i anlegget ved å koble BIM opp mot FDV database for å finne

relevante vedlikeholds historikker og produktspesifikasjon. Dette kan også redusere tid til å finne relevante vedlikeholdsdokumenter i en nødsituasjon. Man kan på den måten unngå å ta feil beslutninger på grunn av unøyaktig data eller mangel på informasjon. (Becerik-Gerber *et al.*, 2012).

I tillegg til drift og vedlikeholdsdokumentasjon som ligger i BIM-modeller kan man også få tilgang til sanntidsdata ved hjelp av ubemannede systemer som roboter og droner som er utstyrt med kameraer, radarer, laserskannere, infrarøde eller sensorer (Costin *et al.*, 2018). Bane NOR holder på med et innovasjonsprosjekt IARI som står for «Image Analysis Railway Infrastructure». Prosjektet går ut på å benytte jernbanefaglig annotering av bilder eller video for å trene opp kunstig intelligens. Inspeksjon og analyse av jernbaneinfrastrukturen ved hjelp av bilder og video tatt fra målevogn, passasjertog, arbeidsmaskiner, droner samt fastmonterte kameraer kan bidra til rask og effektiv avdekking av feil og avvik. Bane NOR har allerede tatt i bruk sensorer for å predikere feil i sporveksler og sporfelt. De har også benyttet sensorer til rasvarsling for å fange opp vibrasjoner i sporet. Dette har ifølge Bane NOR bidratt til høyere oppetid i jernbaneinfrastrukturen samt mindre tid og kostnadsbruk til vedlikehold (Bane NOR, 2020b; 2020f). Bane NOR benytter målevogn for kontroll av sporets tilstand. Dagens målevogner består av et integrert målesystem som kan oppdage sporets geometri og kvalitet og evt. avvik i kontaktledningssystem. Ulempen er at det finnes kun en målevogn i hele Norge (Jernbanekompetanse.no, 2020). Teknologier som laserskanning kan være en mulig erstatning for bruk av målevogn som også gir økt nøyaktighet og lavere tidsbruk til inspeksjoner samt dokumentasjon av infrastruktur. Laserskannere kan brukes til å lokalisere og fange overflaten til objekter. Et resultat av laserskanning er en punktskymodell som viser infrastrukturen med høy presisjon og oppløsning. Punktskymodeller kan da brukes til modellering og analysering av infrastruktur. Integrasjon mellom disse systemene og BIM kan eliminere behovet for datalagringsenheter og lette datainnsamlingsprosessen (Costin *et al.*, 2018).

Beredskapshåndtering

Informasjon som er nødvendig for beredskapshåndtering kan lagres i BIM. Tilgang til sanntidsdata via BIM kan hjelpe beredskapspersonell til å ta riktige beslutninger. Informasjon i BIM kan brukes til å kartlegge rømningsveier på forhånd. På den måten kan man redusere risiko for feilbeslutninger i nødsituasjoner. BIM kan også brukes som et simuleringsverktøy for å kartlegge mulige nødsituasjoner og konsekvenser. Man kan etter evalueringer lage bedre

beredskapsplaner (Becerik-Gerber *et al.*, 2012). Regelmessig inspeksjon og vedlikehold ved hjelp av BIM-modeller øker også infrastrukturens sikkerheten (Costin *et al.*, 2018).

Vedlikeholdsoptimalisering

BIM kan legge til rette for vedlikeholdsoptimalisering ved å involvere driftsorganisasjon så tidlig som i prosjekterings- og byggefase. På den måten kan prosjekter legge mer fokus på forventet ytelse i alle ledd i anleggets livssyklus (Becerik-Gerber *et al.*, 2012). Begrepet «Design for maintenance» står for prosjektering for vedlikehold. (Liu, 2012; Liu og Issa, 2016). Konseptet innebærer at man samler inn utfordringer og rotårsaker i drifts- og vedlikeholdsfasen i en database og benytter denne dataen til å optimalisere anlegget i BIM-modell i prosjekterings- og byggefase. En stor del av de totale kostnadene til et bygg er vedlikeholdskostnader. Derfor må man ivareta vedlikeholdsoptimalisering allerede i planlegging og prosjekteringsfasen (Liu, 2012).

Anleggets tilgjengelighet kan også sjekkes i BIM-modellen. For jernbane kan funksjonen brukes til å sjekke om man kan utføre drift og vedlikeholdsoppgave når sporet er i drift. Gao og Pishdad-Bozorgi (2019) har påpekt at man kan forbedre vedlikeholds- og reparasjonsprosedyrer ved hjelp av visualiserings- og analysefunksjoner i BIM for å oppdage og lokalisere feil samt for å identifisere rotårsaker til feil. Forebyggende vedlikehold er også et potensielt område BIM kan bidra på. For eksempel for å identifisere utsatte deler av anlegget samt komponenter som potensielt må skiftes ut i nær fremtid (Becerik-Gerber *et al.*, 2012).

Kort oppsummert kan BIM bidra til vedlikeholdsoptimalisering i driftsfasen, men også enda tidligere ved å optimalisere anleggene for drift allerede i prosjekterings- og byggefase.

Arealforvaltning

Arealforvaltning er mer aktuelt for byggetekniske anlegg. BIM kan brukes til å identifisere underutnyttet plass, planlegge plassbehov, forenkle arealanalyse, administrere bevegelsesprosesser og sammenligne faktisk plass med planlagt. Informasjonen i BIM kan brukes til å identifisere ulike bruksformål i anlegget. BIM gir også driftsorganisasjon mulighet til å se og spore tilbake hvordan anlegget så ut tidligere før eventuelle endringer og utvidelser ble gjort (Becerik-Gerber *et al.*, 2012). I jernbanesammenheng kan disse

overnevnte funksjonene benyttes til å utføre arealforvaltning i et servicebygg som ofte brukes av jernbaneansatte, stasjonsbygning eller tekniske bygg for elektriske installasjoner.

Overvåkning og kontroll på energiforbruk

Energiforbruk er en av de viktige aspektene anleggseier og driftsorganisasjon er opptatt av (Liu, 2012). Man kan bruke BIM til å simulere forskjellige scenarier for å kartlegge hvordan energisystemet fungerer i forskjellige konfigurasjoner. Simuleringer i BIM kan hjelpe driftsorganisasjon finne de mest energieffektive løsningene. BIM kan også brukes til å spore den historiske energibruken til hvert område og knytte historiske data til visuelle objekter slik at energiforbruksadferd og energirelaterte budsjetter kan analyseres (Becerik-Gerber *et al.*, 2012).

Visualisering - renovering, markedsføring og opplæring

3D-visualisering av ferdig anlegg er en kjent fordel med BIM. Visualiseringsfunksjon i BIM kan brukes til ulike formål som f.eks. oppussing og rehabilitering, markedsføring eller opplæring. Det å fornye eller renovere jernbaneinfrastrukturen er ofte kostbart og har begrensede budsjett. BIM kan benyttes til å utvikle renoveringsstrategier ved å samle inn vedlikeholds historikker (Costin *et al.*, 2018). Ved hjelp av BIM kan driftsorganisasjonen utføre «hva-hvis» analyser og det bidra til effektiv beslutningstaking (Becerik-Gerber *et al.*, 2012). BIM kan også brukes til markedsføringsformål i driftsfasen hvor man benytter BIM til å lage illustrasjoner og animasjoner av innvendige rom og møbler. Bane Nor har i et tilfelle brukt BIM til å lage et forslag til reguleringsplan for strekningen Sørli-Åkersvika (Bane NOR, 2019b). Det er lettere for publikum og interessenter å bli involvert i reguleringsplan ettersom 3D-visualisering av jernbaneinfrastruktur vil være enklere å forstå enn 2D-tegninger. Det bidrar også til bedre og mere effektive valg av løsninger. Opplæring av nyansatte i driftsorganisasjon krever tid samt forberedelser. Opplæringen skjer ofte via demonstrasjon, befaringer eller ved selvlæring. Nyansatte kan i stedet få opplæring via BIM ved å undersøke komponenter og utstyr, lese relaterte data, eller gå visuelt i BIM for å bli bedre kjent med anlegget. Nyansatte kan også få testet om de klarer å finne nødvendig info i BIM-modellen som trengs til vedlikehold av anlegget (Becerik-Gerber *et al.*, 2012).

3.8 utfordringer og muligheter

Ufullstendig implementering av BIM kan føre til ekstra arbeid og overflødig informasjon, noe som kan svekke tilliten og skaper forvirring i organisasjonen (Borrmann *et al.*, 2018). Derfor er det viktig å identifisere hvilke utfordringer som står i veien for vellykket implementering og hvilke muligheter som finnes.

Oppgaven vil basere seg på forskningen til Costin *et al.* (2018) som kategoriserer utfordringer og muligheter rundt implementering av BIM i driftsfasen fra fem aspekter: Tekniske utfordringer, prosessrelaterte utfordringer, utfordringer knyttet til tankesett, juridiske utfordringer samt avkastning på investering. Muligheter for bedre implementering vil belyses i hvert underkapittel sammen med utfordringer. I vedlegg 3 finner man også en fullstendig tabell som presenterer utfordringer diskutert i eksisterende forskning.

3.8.1 Tekniske utfordringer

Til tross for tidlig involvering av driftsorganisasjon, er det likevel vanskelig å sørge for at nødvendig data blir videreført fra prosjekteringsfasen til driftsfasen (Liu og Issa, 2016). Dette kan potensielt forårsakes av tekniske utfordringer relatert til informasjonsutveksling og interoperabilitet eller at driftsorganisasjon ikke er blitt behandlet som en fremtredende interessent i prosjektet (Liu og Issa, 2016; Rae, Gledson og Littlemore, 2019).

Informasjonsstyring og interoperabilitet mellom programvarene er de to største utfordringene som står i veien for vellykket implementering ifølge både Matarneh *et al.* (2019) og Costin *et al.* (2018). Man må virkelig ha forståelse for hvilken informasjon driftsorganisasjonen trenger før informasjonskravene stilles. Likevel er det få driftsorganisasjoner som har stilt informasjonskrav og det mangler en implementeringsstrategi som passer til deres eksisterende vedlikeholdssystem. Grunnleggende årsaker kan være at informasjonen er for omfattende til å defineres og at det er vanskelig å vite hvilken informasjon skal samles og brukes til hvilken tid i prosjektets livsløp. Utfordringen knyttet interoperabilitet innebærer at man ikke klarer å utveksle data som er produsert under prosjekterings og byggefase til drift og vedlikeholdssystem. Ved full interoperabilitet skal det ikke oppstå feil, mangel eller tap av data når informasjonen overføres fra et system til et annet (Costin *et al.*, 2018; Rae, Gledson og Littlemore, 2019)

I tillegg finnes det andre tekniske utfordringer i implementering av BIM til infrastrukturprosjekter. Dette inkluderer mangel på velfungerende arbeidsflyt i BIM-modeller i samferdselsprosjekter samt mangel på definisjon av detaljnivå i modellene.

Samferdselsprosjekter er ofte større i geografisk skala og har også større behov for bedre program- og maskinvare for å behandle store mengder data (Costin *et al.*, 2018).

Utviklingen av teknologier kan løse de fleste teknologirelaterte utfordringer over tid. Med god opplæring og kunnskapsdeling kan man løse utfordringer rundt bruk av teknologien. For å kunne løse utfordringer knyttet til interoperabilitet, er det viktig at man samarbeider og støtter utviklingen av informasjonsstander som f.eks. IFC (Costin *et al.*, 2018).

3.8.2 Prosessrelaterte utfordringer

Prosessrelaterte utfordringer kan være mangel på effektive prosesser for implementering av BIM i eksisterende infrastruktur. Utfordringer kan også oppstå ved endringer av rolledefinisjoner og ansvarsområder for ulike aktører eller ved endringer av kontrakter (Costin *et al.*, 2018). For eksempel kan dette dreie seg om uklar rolledefinisjon rundt hvem som skal laste inn data og vedlikeholde modeller. Videre kan det være mangel på effektivt samarbeid og kommunikasjon mellom prosjektinteressenter angående modellens utforming og bruksområder (Becerik-Gerber *et al.*, 2012). Det finnes forskjellig verktøy, programvarer og formater som fungerer bra frittstående, men det å bruke samt forstå disse kan være tidskrevende og potensielt føre til feil ved implementeringsprosessen (Costin *et al.*, 2018).

Det å utvikle samt benytte standarder og terminologi kan forenkle og effektivisere prosesser. (Costin *et al.*, 2018). BuildingSMART standarder som f.eks. IFC, IDM og bsDD kan potensielle være løsninger for prosessrelaterte utfordringer. I tillegg til standarder og krav til buildingSMART, har Becerik-Gerber et al. (2012) også foreslått følgende prosess-relaterte tiltak i organisasjonen for at identifisering og implementering av ikke-geografisk data i BIM-modeller til fasilitetsstyring skal være vellykket:

- En prosessleder som kan lede implementeringsprosessen fra begynnelsen til slutt
- Bruke ressurser og tid til å kartlegge mulige bruksområder, undersøke deres egne prosesser samt identifisere potensielle fordeler
- Kursing for å heve kompetansenivå
- Byggherre bør definere bruksformål og detaljeringsgrad til BIM-modell i starten av et prosjekt
- Alle krav, rolledefinisjoner og ansvarsforhold til prosjektorganer skal være dokumentert og kontraktfestet

Prosessene sørger for at BIM-modeller kan gi bedre utnyttelse til FDV og den øker kontrollen hos byggherre fra prosjekterings- og byggefasen til når BIM-modell skal overleveres til FDV

(Becerik-Gerber *et al.*, 2012). Endringsledelsesprosessen må være basert på behovene til den spesifikke driftsorganisasjonen og er dynamisk som krever at driftsorganisasjon og anleggseier følger med for å sikre vellykket implementering (Love *et al.*, 2014). Ekstra kostnader i tidligere faser må påregnes, men ifølge Becerik-Gerber *et al.* (2012) kan den ekstra investeringen bidra til å minske drifts og vedlikeholdskostnader.

3.8.3 Tankesett

Kjente utfordringer relatert til tankesett i driftsorganisasjon kan være manglende motivasjon til endring, manglende samarbeid mellom aktørene, mangelfull opplæring for bruk av BIM-modeller i driftsorganisasjonen, bekymring rundt bruk av BIM kan føre til nedbemanning og mangl på ressurser (Costin *et al.*, 2018). Fordeler med bruk av BIM i driftsfasen er ofte blitt begrenset på grunn av mangelfull kunnskap generelt i driftsorganisasjon eller hos byggherrer (Rae, Gledson og Littlemore, 2019).

Opplæring og kunnskapsdeling innen og utenfor organisasjonen kan bidra til bedre forståelse av BIM blant driftspersonell. Ifølge Costin *et al.* (2018) kan man benytte casestudier eller presentere prosjektresultater til driftsorganisasjon for å hjelpe dem til å forstå bedre teknologier og metoder som er brukt. På den måten kan man øke tilliten til BIM-verktøy i organisasjonen.

3.8.4 Juridiske utfordringer

Dataeierskap, tilgang og bruksrett til data og arkivering av modeller med tilhørende informasjon er ofte juridiske utfordringer som kan oppstå for modellbasert prosjekter (Standard Norges komité SN/K 379, 2020).

Eierskap av data i BIM-modeller og hvordan man kan ved hjelp av lover og kontrakter sikre eierskapet når det er forskjellige parter involvert er en juridisk barriere man må tenke på (Liu, 2012). Utfordringen rundt eierskap kan oppstå ved interessekonflikter og det stilles da ofte spørsmål om det er programleverandør, prosjekterende eller kunden som har eierskap til data (RIF, 2018).

På grunn av større behov for lagring av modelldata, er det ofte benyttet skybasert løsning for lagring av modeller og tilhørende data (Standard Norges komité SN/K 379, 2020). Dette er også et krav i håndboka til Bane NOR at modeller skal lagres på «prosjekthotell» eller «prosjektserver» (Bane NOR, 2021a). Ved skybasert løsning som BIM-server vil det oppstå risikoer og ansvarsforhold rundt hva, hvordan, hvem og hvor lenge disse dataene skal

arkiveres og oppbevares. Dagens lovverk som f.eks. arkivloven og GDPR må man forholde seg til (Standard Norges komité SN/K 379, 2020).

Med Bane NORs nye driftsmodell vil driftsleverandør ha tilgang til Bane NORs drift- og vedlikeholdsinformasjon. Etter avsluttet oppdrag vil driftsleverandører miste tilgang til informasjonssystemet og evt. BIM-arkiv i fremtid. Dette gjelder også for prosjekterende og entreprenører når de leverer fra seg modeller og prosjektdata. Rettigheter til den utestengte parten ved tvistesituasjon må derfor sikres når de ikke lenger har tilgang til informasjonen som ligger i skybasert plattform (RIF, 2018).

For å løse de juridiske utfordringene, må byggherrer og interessenter sammen diskutere ansvarsforhold ved utforming av prosjektering og konstruksjonskontrakter. Basert på diskusjon og erfaringer oppdaterer man deretter det juridiske rammeverket som f.eks. kan være relatert til modells eierskap og tildeling av risiko ved BIM implementering (Costin *et al.*, 2018). Fremtidens behov for å løse disse problemene er avgjørende for en jevn innføring av BIM-teknologier i infrastruktur prosjekter. Det anbefales å utarbeide utførelsesplan for hvert prosjekt som spesifiserer eierskap, rettigheter og plikter til alle parter som oppretter og bruker dataene i BIM (Costin *et al.*, 2018). Juridiske utfordringer vil være vedvarende og det krever at organisasjoner og byggherrer kontinuerlig reviderer deres kontraktsvilkår (Eastman *et al.*, 2011).

3.8.5 Avkastning på investering

Kostnader knyttet til implementering av BIM kan være innkjøp samt testing av programvarer og maskinvarer, oppgraderinger av nåværende IT-systemer, opplæring av personell, endring av leveransemetoder osv. De høye kostnadene ved implementering av BIM har alltid vært en bekymringsfaktor for interessentene. Store aktører som har kapasitet til å innføre BIM bør kunne vise til nytten av BIM til andre mindre aktører. Konkurransen i markedet kan redusere kostnadene og øke tilgjengeligheten av BIM. Kost og nytteanalyser trengs for å avgjøre hvordan disse teknologiene kan implementeres på best måte (Costin *et al.*, 2018).

En annen utfordring i forbindelse med beregning av avkastning er at det er vanskelig å kvantifisere effekter ved implementering av BIM i driftsfasen og at det vil kreve lengre tid for å kunne se effekten i driftsfasen. For å kunne vurdere avkastning for implementering av BIM i driftsfasen, kreves det en bedre forståelse av dens innflytelse på livssyklus-kostnadene (LCC) til et anlegg og dets komponenter (Gao og Pishdad-Bozorgi, 2019).

4 Intervju

I forbindelse med innsamling av empirier er det gjennomført semistrukturerte intervjuer med fageksperter (BIM og FDV), prosjekteringsledere og driftsorganisasjon fra Bane NOR. For å skille mine fortolkninger fra intervjuobjektens egne synspunkter, er det benyttet anførselstegn med kursiv for å fremheve direkte sitat.

I dette kapitlet vil resultater og funn fra intervjuer presenteres. Tabellene under viser oversikt over intervjuobjekter.

Tabell 6 Intervjuobjekter med bakgrunn fra prosjekteringsledelse, BIM og dokumentstyring

Rolle	Navn	Arbeidserfaring	Firma
Seksjonsleder på BIM seksjon og Fagansvarlig BIM	Kristin Lysebo	33 år	Bane NOR
Prosjektsjef	Henning Vardøen	13 år	Bane NOR
Prosjekteringsleder og BIM ansvarlig (innleid) for UDK	Thomas Aas	10,5 år	Bane NOR
Leder for Systematisk ferdigstillelse, Dokumentstyring og FDV	Hans Petter Sjøen	28 år	Bane NOR

Tabell 7 Intervjuobjekter fra driftsorganisasjon

Driftsorganisasjon	Navn	Arbeidserfaring	Firma
Sjefingeniør i Bane NOR Drift og teknologi, avdeling Strategi og utvikling	Sten Inge Tunli	27 år	Bane NOR
Tjenesteansvarlig for Smart Vedlikehold	Jørgen Torgersen	6 år	Bane NOR

Resultater er delt inn i tre underkapittel og skal gi grunnlag for videre drøfting i diskusjonskapittelet. Det skal først presenteres resultater og funn om utvikling for BIM til FDV i jernbanesektoren, deretter bruksområder og fordeler og til slutt utfordringer og muligheter.

4.1 Utvikling for BIM til FDV i jernbanesektoren

4.1.1 Dagens status

Det første underkapittelet presenterer innspill fra intervjuobjekter i Bane NOR angående hvordan kravene til «som bygget»-BIM er praktisert i utbyggingsprosjekter og dagens status for BIM til FDV.

Når det gjelder dagens krav til «som bygget»-modeller som en del av FDV-dokumentasjon, er det variasjon i svarene fra intervjuobjektene. Noen mener at det er i liten grad krevd BIM til FDV mens andre mener at det er krav for de fleste utbyggingsprosjekter. Grunnen ifølge

Vardøen kan mulig være at: *«Kravene kan variere fra prosjekt til prosjekt og er avhengig av hva kravene var på det tidspunktet prosjektet ble startet opp på»*. Lysebo opplyser at Bane NOR krever leveranse av «som bygget»-modeller i dag i kontrakter for de store utbyggingsprosjektene, men ingen av disse prosjektene er ferdig bygget enda. Det som er til felles mellom intervjuobjektene er delt syn på at BIM ikke er blitt brukt noe særlig i driftsfasen. Lysebo påpeker at BIM ikke er godkjent som teknisk dokumentasjon enda, men prosesser er i gang internt hos Bane NOR for å få BIM inn som en del av den tekniske dokumentasjonen. Resultater fra intervjuer om dagens status og praksis vil presenteres under følgende temaer:

Involvering av driftsorganisasjon

Driftsorganisasjon er involvert i tidligere faser før bygging og under bygging ifølge intervjuobjektene. Torgersen påpeker at *«Jo nærmere et prosjekt er ferdigstilt, jo mer er driftsorganisasjon involvert»*. Lysebo mener at *«Prosjektteam er i tett kontakt med driftsorganisasjon under bygging. Driftsorganisasjon er også involvert i tidligere faser på et generelt nivå og er ikke prosjektspesifikke»*. Vardøen peker på at *«Det er en del av RAMS prosessen at driftsorganisasjonen skal bli inkludert i prosjekter»*. Vardøen mener også at driftsorganisasjon har blitt involvert i alle planfaser slik at de har mulighet til å gi innspill på valg av løsning. Aas har ikke erfaring med andre faser enn prosjekterings- og byggefasen og han mener at banesjefen fra driftsorganisasjonen er spesielt involvert. Tunli mener også at banesjefen involveres i prosjekterings- og byggefasen.

Merking

Merking av jernbaneobjekter spiller en viktig rolle i FDV-prosesser for at man skal kunne gjenkjenne objekter ute i anlegget. Merking av objekter sørger for at man kan knytte tilhørende FDV-dokumentasjon til assosierte objekter for drift og vedlikeholdsoppgaver. Det er stilt spørsmål om merking og de ulike merkesystemene som f.eks. TFM og BaneData ID. Det er flere intervjuobjekter som opplyser at TFM er brukt til byggrelaterte objekter mens BaneData ID er for jernbaneobjekter. De fleste er enige i at objekt-IDer i utgangspunktet skal være unike. Av empirien til undertegnede er det også opplevd at visse objekter kan registreres både med TFM og banedata ID som f.eks. elektro. Grunnen til dette er ifølge Vardøen at det muligens kan være at objekter ligger i grensesnittet mellom bygg og jernbane. Tunli påpeker at selv om Bane NOR setter krav til bruk av TFM og BaneData ID, er det ingen av deres

driftssystemer som takler TFM i driftsøyemed. Han presiserer videre at «*Maximo (banedata) er grunnlaget for Bane NORs Asset Management system for arkivering av metadata*».

TFM er bygd opp slik at kodene kan vise relasjoner mellom objektene. Banedata ID ifølge Torgersen har fortsatt forbedringspotensiale:

«Vi forbedrer BaneData stadig, og det er en del relasjoner mellom objekter som vil være lettere å vise i BIM-modell ... Man ønsker å ha en standardisert nøkkel som kan brukes på tvers av bransjer ... BaneData ID kommer til å nærme seg bransjestandard og vil bli mer likt som merkesystem som brukes til eiendeler».

Et annet viktig funn er at objekter ikke er merket fysisk ute med BaneData ID på strekningene og det er en del avvik mellom objekter som er registeret i BaneData (Maximo) og det som faktisk er ute i anlegget ifølge Tunli. Han utdyper videre at det kan være manglende dokumentasjon av gamle anlegg og stasjoner samt behov for lokalkunnskap da objekter ikke er merket fysisk med BaneData ID i de eldre anleggene. I tillegg supplerer Sjøen med at det er ofte BaneData som er mest oppdatert ved utførelsen av vedlikeholdsarbeid mens annen FDV-dokumentasjon oppleves som mindre oppdatert. Problemstillingen er også tatt opp av Tunli og han mener at det kan være at drifts- og vedlikeholdspersonell har for lite kunnskap til CAD verktøy noe som resulterer i at tegninger i mange tilfeller ikke blir oppdatert etter ombygging.

Informasjon i modeller (metadata/egenskaper)

Uttrykket «metadata» er blitt revidert til «egenskaper» i Bane NORs nye revisjon av håndboka for «digital planlegging». Intervjuer er utført før revisjon er publisert og derfor vil uttrykket metadata brukes videre i dette kapitlet.

I litteraturstudien er det blitt presentert at Bane NOR har en egen 3D objektbibliotek hvor objekter er opprettet med eller uten metadata. For å undersøke om metadata er blitt implementert i objekter i BIM-modeller, er det stilt spørsmål angående objektbibliotek og metadata i objekter.

Svarene fra intervjuobjektene peker på at det i liten grad er brukt objekter med metadata. Objekter som er generiske uten metadata er i større grad benyttet. Ifølge Lysebo kan grunnen muligens være at: «*Bane NOR ikke vet hva slags produkter leverandører har og det er derfor vanskelig å legge denne infoen i deres objektbibliotek*». Sjøen kommer med lignende synspunkt og han supplerer med at «*Det ofte er entreprenører som har*

produktspesifikasjonen. Det må defineres på forhånd hvem som skal oppdatere BIM til FDV og entreprenøren må gi innspill til hvilke produkter som er brukt i anlegget».

Når det gjelder krav til informasjon og metadata i modeller, sier de fleste intervjuobjektene at det ikke er stilt noe særlig krav per i dag, men ettersom Bane NOR holder på med flere pilotprosjekter, vil kravene mest sannsynlig komme i nær fremtid. Det er rimelig å anta at kravene vil være forskjellig for prosjekter som starter fremover sammenlignet med kravene for noen år tilbake. Eksakt hvor mye informasjon som vil kreves arkivert er enda ikke klart da kravene ikke er entydige mellom prosjekter så langt. Torgersen mener at *«man bør arkivere så mye som mulig av modellen da fremtidige ingeniører kan ha et annet behov for data enn vi tror. Informasjon i modeller skal kunne sorteres ut slik at ikke all info brukes til daglig drift»*. Tunli mener at det vil være andre kriterier som gjelder for driftsmodeller sammenlignet med bygningsmodeller. Han påpeker videre at BIM er utviklet som prosjekteringsverktøy og at det er informasjonsutveksling mellom BIM i utbygging- og driftssystemene som er viktig å utvikle nå. Vardøen mener også at informasjonen skal være strukturert i fremtiden og det vil settes fokus på informasjonsflyt mellom systemene.

Torgersen er en av de tre intervjuobjektene som mener at det bør utvikles en «digital tvilling» for anlegg da dette vil forenkle FDV: *«Det bør stilles krav til at alle spornære, driftskritiske materiell skal være levert med en digital tvilling (BIM-modell) som inneholder alt leverandør klarer å levere fra seg. Det vil være lettere å kontekstualisere data til objekter. En annen grunn er at det vil være lettere å legge inn data i Bane NORs Asset management system hvor hierarki er stort»*.

BIM for eksisterende bane

Om fremtidig jernbaneinfrastruktur skal driftes etter BIM-modeller, er det rimelig å anta at det vil bli en diskusjon på hvordan man skal gjenskape BIM-modeller for eksisterende baner som ikke ble levert med BIM-modell, eller hvor modeller ble levert med mangelfull informasjon. Det er stilt spørsmål til intervjuobjekter angående utvikling av BIM-modeller til eksisterende bane for å kartlegge status.

Vardøen hevder at det er benyttet laserskanning på banestrekningen fra Lysaker til Bryn hvor man kan få geografisk plassering av objekter. Ulempen er at det ikke finnes metadata i en skannet modell. Det er vanskelig å forutse hva slags teknologi det brukes i fremtiden ifølge Lysebo og fokus nå er på å kunne drifte anlegg etter modellene. De fleste intervjuobjektene mener at det er en fremtidig problemstilling som ikke må løses i dag. Vardøen mener blant

annet at «Når man vet hvordan man drifter etter BIM-modeller og hvordan informasjon skal struktureres, vil det være mer aktuelt og se på BIM-modeller for eksisterende baner».

Filformat

Når det gjelder filformat for utveksling av data, er det kun enkelte fag som konstruksjon leverer IFC format. For de fleste fag er det vanlig å levere fra seg DWG format av modeller ifølge intervjuobjektene.

Torgersen hevder at «En del verdifull informasjon som fantes i utbyggingsfasen av modeller blir borte når modeller blir konvertert til tabellariske info i driftsfasen». DWG som filformat kan ifølge Vardøen være en årsak til at informasjon går tapt: «Prosjekter leveres ofte i DWG format som gjør at det er vanskelig å implementere metadata i modellen». Ifølge Aas kan det også forklares med at «Informasjonen i lukket format som DWG er lite søkbart mens informasjonen lagt i tekstfil eller i IFC er søkbart». Ved at det er vanskelig å implementere metadata samt søke denne opp ved bruk av DWG formatet så er det også rimelig å anta at dette kan forhindre bruk av BIM-modeller i driftsfasen.

Åpne internasjonale formater som IFC og GML har blitt nevnt med høy frekvens i intervjuene. Vardøen hevder at åpne internasjonale formater vil kreves for å håndtere metadata på objekter. Tunli mener også at åpne standarder er en forutsetning for at programvare/datamaskiner snakker sammen. Ifølge Lysebo støtter Bane NOR utviklingen av «IFC Rail» sammen med andre land, I tillegg til IFC og GML har SOSI også blitt nevnt av Tunli. Han hevder at SOSI er en standard som er tilpasset til norsk bruk, mens Lysebo mener at «SOSI er standard format for kart, og at GML være mere egnet til bruk av BIM i jernbane sammenheng».

Tilbakemeldinger fra intervjuobjektene tyder på at de fleste er positive til åpne standarder som fremtidige løsninger for utveksling av informasjon og arkivering av BIM-modeller. Dagens filformat som DWG er ikke optimalt for overføring og utveksling av data.

4.1.2 Utvikling nasjonalt innen jernbanesektoren

Bane NOR er eier av jernbaneinfrastruktur. Det er derfor stilt spørsmål rundt pågående prosesser i Bane NOR for å undersøke hva Bane NOR vil satse på i nærmeste fremtid og hvordan utviklingen har vært mtp. BIM til FDV.

BIM til FDV har blitt et mer og mer diskutert tema ifølge flere intervjuobjekter. Blant dem hevder Tunli at: «BIM har vært benyttet i Bane NOR til bruk i prosjektering og bygging i 10-15 år og modeller til bruk som FDV har blitt et tema i de siste årene». Han sier videre at

«Bane NOR har ulike samarbeid med BA-Nettverket, BuildingSMART, Nordic BIM m.m for utvikling av internasjonale standardformater for BIM».

Hvilken informasjon driftsorganisasjon trenger i driftsfasen er et av de viktigste temaene Bane NOR har fokus på. For å kartlegge informasjonskrav er det nylig utarbeidet dokumentasjon for krav til informasjonsmodellering (KIM) for Ringeriksbane og E16 prosjektene. Dette blir omtalt som «KIM prosjektet» ifølge flere av intervjuobjektene. Lysebo opplyser at Bane NOR er i prosess med å utvikle BIM som godkjent teknisk dokumentasjon til FDV. Hun påpeker videre at det er pilotprosjekter og et internt prosjekt som pågår hos Bane NOR som har fokus på BIM til FDV.

Når det gjelder det ene pilotprosjektet sier Lysebo at *«Prosjektet har som mål å levere BIM som FDV-dokumentasjon og å kunne overføre informasjon fra BIM til FDV-arkivene for tegningsløse leveranser»*. I tillegg har Bane NOR et annet pilotprosjekt hvor de ønsker å *«utvikle driftsmodeller for teknisk hus med fokus på jernbanetekniske fag»*. Målet er ifølge Lysebo *«å samarbeide med driftsorganisasjonen for å finne ut hvordan man modellerer og kobler opp informasjon slik at man kan drifte etter BIM- modellene»*. Det er også et internt prosjekt som kalles KIM 2.0. Dette er en videreføring av «KIM prosjektet». Målet er *«å gjøre om kravene til generelle krav for alle planfaser og type entrepriser i jernbaneprosjekter»*, understreker Lysebo.

Lysebo har også opplyst at i utbyggingsprosjektet Drammen til Kobbervikdalen (UDK), vil Bane NOR satse på å levere BIM-modeller til FDV i en faseplan etter sommerbruddet 2021 for å kutte ned antall tegninger. De har mål om å drifte etter modeller for noen fag som f.eks. bruer og tunneler fra slutten av 2021 og 3-5 år fremover. I forbindelse med UDK er det intervjuet Thomas Aas som er prosjekteringsleder og BIM ansvarlig i prosjektet. Han sier at *«Vi er klare til å levere fra oss «som bygget»-dokumentasjon i form av BIM i prosjektet UDK ... Modellfiler leveres enten i IFC eller dwg format ... For informasjon som ikke er søkbart, vil det leveres tilleggsdokumentasjon som følger modell.»*.

I tillegg til informasjonskrav, vil informasjonsflyt også være et viktig tema ifølge Vardøen: *«Bane NOR har gått i samarbeid med Statsbygg for å samkjøre forståelsen av ISO 19650 og sikre at man stiller like krav til informasjonsflyt i hele prosjektets livsløp ... Vi har også tatt i*

bruk bransjestandarden MMI (modell modenhet indeks), og videreutvikler prosessen med å styre prosjektene våre med forankring i denne».

Omorganisering knyttet til utbyggingsdivisjonen i Bane NOR gjør det enklere å standardisere krav og prosesser ifølge Lysebo og på kort sikt vil leveranser bestå av modeller med noe redusert tegningssett. Samarbeid med andre byggherrer og aktører for utvikling av åpne standarder samt pågående prosjekter for å tydeliggjøre informasjonskrav og informasjonsflyt tyder på at det er en positiv utvikling innenfor informasjonshåndtering til fasilitetsstyring.

4.2 Bruksområder og fordeler

I dette underkapittelet vil det presenteres tilbakemeldinger fra intervjuobjekter om bruksområder og fordeler de kjenner til ved bruk av BIM til FDV.

4.2.1 Bruksområder for dagens BIM

Ettersom dagens filformat og prosesser ikke kan understøtte overføring av fullverdig info fra BIM-modell til FDV, er det stilt spørsmål til intervjuobjekter om hva en «som bygget»-modell kan brukes til per dagsdato.

Ifølge Lysebo er geografisk plassering av objekter nøyaktig og eksakt på millimeter i BIM-modell og kan allerede brukes nå til FDV. Per i dag er det en mellomfase hvor man går fra teningsbaserte prosjekter til modellbasert prosjekter. Ifølge flere intervjuobjekter vil modellbasert prosjektering føre til kutt av antall tegninger som skal arkiveres til FDV. Sjøen hevder at *«Modellbasert prosjekter hvor BIM er en del av leveranser vil lette arbeidsprosesser og redusere antall tegninger som leveres»*. Dette er noe som vil bli realisert i UDK ifølge Aas og Lysebo siden prosjektet er modellbasert med få tegninger og dokumenter som skal leveres. Likevel er dagens bruk av BIM ikke optimal ettersom understøttende teknologi og prosesser ikke er på plass enda.

Tunli har opplevd at det kan være noen ulemper: *«Ved modellbaserte leveranser, må mange tegninger leveres i tillegg. Dette resulterer i økt arbeid og medfører fordyrende prosjektering. BIM-verktøyene er heller ikke utviklet for at man kan gå helt vekk fra den gamle måten å dokumentere ting på»*. Tunli er ikke alene i dette. Aas påpeker også at *«Selv om det er levert en del «som bygget»-3D modeller, er modeller lite brukt i driftsfasen. Modeller ble levert som vedlegg til tegninger. I dag er de fleste leveransene fortsatt knyttet til tegninger»*. Sjøen mener også at selv om det er krevd modellbasert prosjektering og levering av modeller, er det fortsatt mange 2D-tegninger som leveres til entreprenøren for bygging og til drift i form av «som bygget»-dokumentasjon. Til tross for forskjellige opplevelser rundt modellbasert leveranser,

er BIM noe Bane NOR vil satse på i fremtiden ifølge Lysebo: «*BIM er en viktig del av digitaliseringsprosesser og det forutsettes at det kan bidra til besparelser på tid og kostnader samt økt kvalitet i leveranser*». Hun mener også at «*Det som innføres skal ikke gjøre ting mer tungvint enn det er i dag og implementering skal bidra til lettere prosesser*».

4.2.2 Bruksområder for fremtidig BIM

Det er flere som har uttrykket at det å utvide bruk av BIM til FDV vil gi store nytter i driftsfasen. Aas mener blant annet at «*Drift og vedlikehold er den største delen av et livsløp til et objekt eller en banestrekning. Å få den i den digitale verden hvor man kan høste og samle informasjon vil være effektiviserende og kostnadsreducerende for hele bransjen*». Han utdyper videre at BIM til FDV vil være et viktig fokusområde. Torgersen mener også at «*Det vil være hensiktsmessig å bygge sterkere bånd mellom utbyggingsseksjon og driftsorganisasjon. Det som er skapt i utbyggingsfasen vil kunne gjøre FDV lettere og billigere*».

Når det gjelder hva fremtidig BIM kan brukes til FDV, har intervjuobjektene kommet med følgende innspill:

- Visualisering av objekter
- Geografisk plassering av objekter
- Informasjonsmodell/informasjonsdatabase
- Komplette informasjon av reservedeler for vedlikeholdsordre
- Estimering av fornyelsesbudsjett
- Planlegging og robotisering av vedlikehold og inspeksjon
- Integrasjon med kameraer, sensorer, laserskanning og termografering for sanntidsdata
- Simulering av FDV scenarier via digitale tvillinger

Visualisering, stedfesting og informasjonsmodell

Visualisering av objekter kan ifølge Torgersen hjelpe driftspersonell til å forstå hvordan objekter er bygd opp. Han mener også at «georeferert» BIM kan gjøre det lettere å automatisere inspeksjon med kamera fra tog eller drone. Torgersen påpeker videre at en av de største fordelene man har er selve bruken av BIM som informasjonsmodell:

«BIM som informasjonsmodell kan relatere data til objekter og kan understøtte RCM prosesser eller alle prosesser som omhandler regelverket, vedlikeholdsoptimalisering, datavitenskap og vedlikeholdsprogram osv. Det er fordi det vil være lavere terskel for å forstå hva objekter kan brukes til og

hvordan anlegget er bygd opp ... «Asset management» vil ha komplett informasjon av det leverandører leverer for eksempel tilhørende reservedeler osv. På den måten kan man lett få tilgang til info relatert til det som faktisk finnes ute på anlegget».

Vardøen mener også at «BIM i drift handler i hovedsak om informasjon, og den geometriske modellen blir et resultat av informasjonen». Dette ifølge Vardøen kalles I-en BIM som betyr at det er informasjonen i BIM-modeller som er det viktigste. BIM som informasjonsdatabase ifølge Sjøen kan brukes til å generere vedlikeholdsordre og gi oversikt over reservedeler. Informasjon i BIM kan derfor også brukes til å estimere fornyelsesbudsjett ifølge Torgersen.

Integrasjon av BIM med andre teknologier

Når det gjelder inspeksjon og overvåkning av anlegget, mener både Torgersen og Vardøen at det er visse fordeler man vil få i fremtiden ved integrasjon med andre teknologier for å skaffe sanntidsdata:

Torgersen: «BIM kan berikes med data og bilder. Laserskanning og termografering kan være informasjonsnøkkel som gir tilgang til ulike sanntidsdata. Med dette kan man gjennomføre inspeksjon av et objekt fra kontoret. Bilder av objekter, sanntidssensordata og modell vil forenkle FDV. Slik kan man spare reisekostnader og øke sikkerheten til de som jobber med FDV».

Vardøen: «I fremtiden vil FDV-modellen være digitale tvillinger, som er en digital fremstilling av et byggverk. I en digital tvilling kan man overvåke egenskapene i en modell via sensorer plassert ut i anlegget»

Simuleringer i digitale tvillinger

I tillegg til BIM i driftsfasen, kan BIM også benyttes til FDV i tidligere faser ifølge Tunli: «Test og driftsprosessen bør simuleres i BIM før bygging, gjennom metoder for digital tvilling, gjennom pålitelighetstest av systemer, siktkontroller, bevegelsessimuleringer og «safety-analyser» av hendelser som kan oppstå i driftsfasen... BIM i prosjektering og byggefasen kan utarbeides ut fra et best mulig driftsperspektiv gjennom at det er tatt hensyn til behovene som kommer fra drift og vedlikeholdsfasen.». Han påpeker videre at «Ved hjelp av «digital tvilling» kan man teste om systemets robusthet (redundans) og om man kan vedlikeholde deler av anlegget uten at trafikken stoppes. Det muliggjør også simuleringer av anleggets robusthet i forhold til økt kapasitet og utnyttelse».

4.3 utfordringer og muligheter

I dette delkapittelet vil det presenteres svar fra intervjuobjektene rundt utfordringer som står i veien for implementering av BIM til FDV. Tabellen under er en oppsummering av identifiserte utfordringer fra intervjuer:

Tabell 8 Identifiserte utfordringer for implementering av BIM til FDV fra intervjuer

Utfordringer	Tilhørende tema
Dårlig interoperabilitet mellom systemene/verktøyene	Tekniske utfordringer
Manglende BIM-arkiv	
Manglende plattform for levering og håndtering av data i BIM-modeller	
Programvarer for både BIM og FDV er ikke modne nok	
Informasjonskrav er ikke entydig fra byggherre/driftsorganisasjon	
Informasjonskrav er for omfattende å identifisere	
Informasjon er ikke strukturert nok	
Det tar tid å snu rutiner samt måten folk jobber på	Prosessrelaterte utfordringer
Ulik modenhet i organisasjoner gjør at endringer tar tid	
Datadrevet tankegang	Tankesett
Manglende kompetanse og erfaring for BIM til FDV	Avkastning på investering
Manglende budsjett	
Manglende faglige ressurser innen BIM	
Tilgang til lisens og programvarer	
Det krever tid til å finne egnede filformat samt utvikle BIM til FDV	
-	Juridiske utfordringer

På bakgrunn av svarene fra intervjuobjektene, er utfordringene blitt sortert etter tema på samme måte som i litteraturstudien. Det opplyses om at ingen intervjuobjekt har nevnt om det kan oppstå juridiske utfordringer. Utfordringer og muligheter vil flettes sammen og presenteres i følgende temaer.

4.3.1 Tekniske utfordringer

Lite eller ingen interoperabilitet mellom programvarene er en av de tekniske utfordringene som er nevnt mest under intervjuer. Videre blir det av flere intervjuobjekter sagt at

informasjonskrav må identifiseres for at man skal kunne benytte BIM til FDV. Begrensinger i programvarer er også kjente tekniske utfordringer ifølge intervjuobjektene.

Interoperabilitet

Interoperabilitet er nøkkelen til informasjonsutveksling. For å skape god informasjonsflyt, trenger man god interoperabilitet mellom programvarene. Ifølge intervjuobjektene kan det være utfordrende å utveksle informasjon mellom BIM-verktøy eller mellom BIM-verktøy og FDV-arkivene.

Sjøen som er leder for systematisk ferdigstilling, mener at *«Dagens modelleringsverktøy ikke er kompatible med hverandre. Det er opplevd at informasjon blir borte eller feil når man konverterer modeller mellom programvarene»*. Flere informanter hevder at det er ingen interoperabilitet mellom BIM og FDV-verktøy. Tunli forklarer at grunnen til dette kan være at *«Det mangler en overføringsmetode med et standardisert språk for at maskindata kan overføres mellom BIM-verktøy og FDV-system»*. Aas hevder at det er delvis interoperabilitet mellom BIM og FDV-system og at løsningen ikke er optimal: *«Det er fortsatt mye manuelt arbeid med import og eksport av data fra og til BIM»*. Tunli mener også at *«man kan overføre metadata fra BIM til BaneData (Maximo) gjennom PIMS, men at det i stor grad er en manuell prosess da både system og maskinspråk ikke er tilpasset dette»*.

Svarene fra intervjuobjektene om løsning på interoperabilitet er entydig og konsekvent at det behøves åpne standarder. Vardøen påpeker at *«Det er viktig at alle leveranser i fremtiden er på åpne internasjonale standarder og vi bruker løsninger med åpne API'er»*. Dette kan ifølge Aas og Vardøen bidra til å strukturere data ettersom informasjonen blir søkbar i åpne formater. Dette vil igjen kunne bidra til økt bruk av BIM som følge av lettere tilgang på informasjon i driftsfasen.

I tillegg til at informasjon blir søkbar, gir åpne standarder bedre mulighet til informasjonsutveksling uten tap av data ifølge Tunli: *«Dataverktøyene krever høy nøyaktighet og kvalitet av de overførte dataene. Hvis det f.eks. mangler et komma, klarer ikke maskinen å kjenne igjen betydningen av dataene ... Åpne standarder som SOSI, IFC eller GML er en forutsetning for at programvare/datamaskiner snakker sammen»*.

Informasjon i modeller og informasjonskrav

Under intervjuene er det avdekket at det ikke er stilt noe særlig informasjonskrav til BIM i driftsfasen per dagsdato og det er heller ikke er så mye ikke-geografisk informasjon i modeller eller på objektnivå. Problemstillingen er fulgt opp videre for å finne eventuelle

underliggende årsaker. Vardøen påpeker at «*Informasjon og dokumentasjon som driftsorganisasjon trenger er per i dag ikke strukturert*». Grunnen til dette kan ifølge Lysebo potensielt være fordi «*Informasjonskrav er for omfattende og identifisere*». Eller ifølge Tunli kan dette være på grunn av manglende kunnskap og erfaring med bruk av modeller til FDV. Ifølge Vardøen var kravene satt med fokus på geografisk plassering av objekter i modeller tidligere, men fra nå av vil kravene legges vekt på ikke-geografisk informasjon i BIM som må håndteres og struktureres. Rundt viktigheten av informasjonskrav har Vardøen følgende å si; «*Byggherre må ha stålkontroll på det de eier for å kunne drifte og vedlikeholde anlegget*».

Lysebo mener at «*driftsorganisasjon skal være med å sette krav*». Dette kan anses som nødvendig ettersom det er de som skal drifte og vedlikeholde anlegget. Sjøen trekker frem at informasjonskrav skal defineres etter fagets behov: «*Hvilken informasjon som skal leveres til hvilket fag skal på plass for at BIM skal kunne brukes til FDV*». Torgersen mener at «*man må passe på hvilken info som trengs å oppdatere og hvilken som ikke med tanke på kompleksitet og kostnader. Det vil være viktig at de fysiske egenskapene til objekter blir historisert. Det kan f.eks. være hvor mange timer maskinen har blitt brukt, arbeidsordrer og antall feil registeret*». Vardøen mener at «*Store byggherrer kan standardisere sine krav og samarbeide slik at bransjen lettere kan forholde seg til like krav fra ulike byggherrer*».

For å kunne gjøre informasjon lettere tilgjengelig og strukturert, mener Vardøen at «*i fremtiden vil informasjonsflyt være viktig ref. ISO 19650 ... Informasjonen vil i hovedsak bestå av databaser og det er kun informasjon som er nødvendig til gitte prosesser som blir synkronisert med den fysiske modellen*». Han utdyper videre at når man stiller krav i en kravdatabase som f.eks. BIMQ, kan man maskinvalidere kravene mot modellene.

Programvarer

Begrensning i programvarer til informasjonshåndtering kan gi utfordringer når det gjelder arkivering av BIM-modeller eller håndtering av data i BIM-modeller.

For det første mangler det en plattform hvor man kan arkivere BIM-modeller. Lysebo påpeker at «*Tekniske arkiver ikke er lagt opp til å ta imot modeller. Det kan være på grunn av ting som filformat, feilkode eller størrelse på filer*». Dette er Tunli enig i: «*Bane NOR benytter ProArc for arkivering til prosjekteringsdokumenter i form av Word, PDF og DWG. ProArc er ikke tilpasset for å lagre 3D-modeller eller BIM*». Dagens modeller er ofte lagret i DWG

format. Grunnen til at ProArc ikke takler modeller kan muligens være at størrelse på filer er for store.

For det andre må man finne ut hvordan man skal levere og håndtere data fra BIM-modeller. Det kan være utfordrende med tanke på integrasjon med eksisterende vedlikeholdssystem, samt håndtering av data fra en «som bygget»-modell til en driftsmodell på større skala. Sjøen hevder at *«Vedlikeholdssystem er ikke tilrettelagt for BIM-modeller ... Det er teknologiske utfordringer knyttet til integrasjon med eksisterende systemer»*. Når det gjelder håndtering av data i det store jernbanenettet, mener Aas at *«Prosjektet som leverer en BIM-modell for noen få km-utbygging er en liten del av banestrekninger som skal driftes og vedlikeholdes. Dataflyten fra en mindre BIM-modell til en større drift- og vedlikeholdsmodell er en utfordring som må løses»*. Det virker som Aas ikke er den eneste som har tenkt på problemstillingen ettersom Sjøen har også har påpekt kompleksiteten av jernbanenett: *«Jernbanestrekninger er utstrakt. Fremtidig BIM-arkiv må kunne håndtere en stor BIM-modell eller flere små BIM-modeller»*.

I tillegg til overnevnte utfordringer til informasjonshåndtering, er det også utfordringer som forårsakes av at modelleringsprogramvarer ikke er tilpasset samferdselsprosjekter. Dette vil gjøre det vanskelig å levere og arkivere BIM-modeller til FDV når selve utfordringen knyttet til modellbasert prosjektering ikke er løst. Lysebo trekker frem at *«Programvarer som er utviklet mot byggbransjen kan brukes til f.eks. bygg og konstruksjoner innen samferdsel, men det er ikke helt egnet til å ta i bruk i alle fag. Det er flere årsaker til det, standardisering på filformater og egenskaper er en av dem. En annen årsak er at vi ofte i samferdsel har prosjekter med svært lang utstrekning noe som ikke alle programvarer er like gode på. I samferdsel bruker vi reelle koordinater i bestemt koordinatreferansesystem, mens bygg bruker et lokalt nullpunkt noe som ikke kan brukes innen samferdsel»*.

Ifølge intervjuobjektene må det i fremtidige BIM og FDV-verktøy være lett å finne informasjon, de må være brukervennlig og enkle med tanke på oppdatering av data. Torgersen mener at *«Brukeropplevelser er veldig viktig. Det skal være naturlig og brukervennlig å ta i bruk BIM i driftsfasen. Modellene og informasjonen må være tilgjengelig på telefon eller mobile enheter for de som er ute i sportet. Verktøy må også være brukervennlig for vedlikeholdsingeniører som sitter på kontoret ... Modellers størrelse skal*

være tilpasset plattformens kapasitet. Responstiden må ikke være for lang, hvis ikke risikerer man at folk ikke ønsker å bruke verktøyene».

4.3.2 **Prosess, tankesett og avkastning på investering**

I tillegg til tekniske og teknologiske utfordringer, har intervjuobjekter også opplyst utfordringer som f.eks. relaterer til prosess, tankesett og avkastning på investering.

Både Vardøen og Aas mener at det å endre dagens arbeidsrutiner og arbeidsmetodikk vil være en noe krevende prosess. Vardøen utdyper blant annet at «*Ulik modenhet i organisasjoner gjør at endringer tar tid*». Muligheter for å løse prosesser relatert utfordringer kan ifølge Torgersen være: «*Prosesser som endringsledelser, bedre forståelse mellom BIM og FDV miljø, generell modning i bransjen og organisasjonsutvikling kan bidra til implementering*». I tillegg utdyper han at «*jo flere som tar i bruk i driftsfasen, jo bedre blir implementeringen*».

Når det gjelder tankesett og implementering av BIM i driftsfasen så mener Torgersen at det kreves et høyere fokus på datahåndtering enn før.

Utfordringer knyttet til kostnader kan ifølge intervjuobjektene være relatert til at man vil trenge tilgang til lisenser, programvarer og kompetente ressurser. Kursing ifølge intervjuobjektene kan være en mulighet for å øke kunnskapen rundt BIM. Det er ikke tvil om at kostnader vil være en utfordring som kan stå i veien for implementering av en ny teknologi eller prosess. Både Vardøen og Lysebo mener at man må ha kost og nytte i bakhodet når man implementerer BIM i prosjekter. Vardøen utdyper videre at «*Alle prosjekter har generelle krav til BIM, men det varierer i hvilken grad prosjektene greier å gjøre seg nytte av gode BIM-prosesser. BIM-prosesser må ses i sammenheng med kost/nytte og små prosjekter har ofte ikke like stort utbytte av å være like ambisiøse som de store prosjektene*». Dette er Lysebo enig i og hun utdyper videre at mindre utbyggingsprosjekter har per i dag ikke like strenge krav til leveranse av modeller, men at det er noe det jobbes med. Torgersen mener også at for mindre utbyggingsprosjekter kan det være utfordrende å få utviklet BIM-modeller da det ofte mangler budsjett eller faglige ressurser med kompetanse innen BIM.

5 Diskusjon

I dette kapittelet vil resultater og funn fra intervjuer drøftes opp mot funn fra litteraturstudien. Funnene vil diskuteres og drøftes slik at man kan få frem et flersidig syn på problemstillingen. Drivere for implementering er undersøkt i litteraturstudien, men ikke målbevisst i intervjuer. Likevel kommer det frem informasjon under intervjuene som gjenspeiler det man har funnet i litteraturstudiene. Disse funnene vil også diskuteres. Dette gjelder også utvikling internasjonalt.

Dette kapittelet vil være strukturert i henhold til forskningsspørsmålene og presenteres som følgende:

- Utviklingen for BIM til FDV nasjonalt og internasjonalt
- Drivere for implementering
- Bruksområder og fordeler
- utfordringer og muligheter

Under innsamling av empirien og informasjonsmateriell fra eksisterende forskning og litteratur er det avdekket en del temaer som er interessant og nyttig for denne oppgaven. For å begrense omfanget til diskusjonskapittelet, vil de meste relevante temaene og viktigste funnene bli diskutert.

5.1 Utviklingen for BIM til FDV nasjonalt og internasjonalt

5.1.1 Dagens status, videre utvikling og utviklingstrender

Av empirien og teorien kommer det frem at dagens BIM er lite brukt i driftsfasen. For det første inneholder ikke BIM den informasjonen driftsorganisasjon trenger for å kunne drifte etter BIM-modeller. For det andre er ikke BIM godkjent som teknisk dokumentasjon. Det er per i dag ingen arkiv som kan håndtere og arkivere BIM-modeller og evt. informasjon som ligger i den.

Dagens BIM nivå

Funn viser at dagens BIM nivå i jernbanesektoren ligger et sted mellom nivå en til nivå to ettersom de fleste prosjekter i dag fortsatt forholder seg til 2D-tegninger og dokumenter. Mens noen få prosjekter som f.eks. UDK kommer til å praktisere BIM i nivå to hvor man vil oppleve en reduksjon i antall tegninger som arkiveres. Dagens datautvekslingsmetode har også en del begrensinger som fører til at verdifull informasjon går tapt mellom prosjektering- og byggefasen og driftsfasen. Empirien tilsier at for mindre jernbaneprosjekter kan det være

mer aktuelt å praktisere BIM på nivå en hvor man forholder seg mest til 2D-tegninger og dokumenter på grunn av begrenset tilgang til BIM-ressurser eller budsjett. Årsakene til dette vil diskuteres i kapittelet rundt utfordringer og muligheter.

Objekt og metadata

Funn viser at objekt med metadata er per i dag lite utstrakt. Det foregår flere pilotprosjekter og interne prosjekter hos Bane NOR som omhandler å tydeliggjøre informasjonskrav samt strukturere informasjon i modeller. Informasjon i objekter eller i modeller er derfor et viktig tema for fremtidig utvikling av BIM. Det fremkommer også at i forhold til den geografiske informasjonen, er den ikke-geografiske informasjonen viktigere for driftsorganisasjon.

Ifølge intervjuobjektene er det entreprenøren som sitter med produktinformasjon. Dette stiller krav til at entreprenøren må ha gode kunnskaper om fremtidig informasjonskrav og grunnleggende kunnskaper om BIM slik at de vet hvilken produktinformasjon de skal gi fra seg.

Merking av objekter

Forholdene rundt merking av objekter i modeller er undersøkt i oppgaven. Merking av objekter i modeller og ute i felt er essensielt for at man skal klare å identifisere og linke virtuelle objekter med det som faktisk finnes ute i strekningen.

Det finnes ulike kodestrukturer for merking av objekter og det er to type objektkodestrukturer som har skilt seg ut ved undersøkelser: objekt-ID basert på TFM og objekt-ID generert fra BaneData (Maximo). For jernbanerelaterte objekter er det i hovedsak objekt-ID i BaneData som benyttes for å kunne linke objekter opp mot vedlikeholdssystemet. TFM er også benyttet for byggrelaterte objekter som tilhører Bane NOR. Av empirien kommer det frem at TFM ikke brukes noe særlig i driftssystem ettersom det er hovedsakelig BaneData (Maximo) Bane NOR benytter for å vedlikeholde jernbaneanlegget. For fag som f.eks. elektro stilles det ofte krav for merking av objekter både med TFM i tillegg til objekt-ID i BaneData. Dette strider mot konseptet om at en objekt-ID bør være unik.

I et av Bane NORs styrende dokument, «krav og veiledning til prosjektkode», er det opplyst at man kan merke objekter ute i felt med objekt-ID i BaneData. Men av empirien fremkommer det at objekt-ID i BaneData ikke er brukt til fysisk merking i noen tilfeller. I Bane NORs tekniske regelverk er det også stilt andre merkingskrav som f.eks. driftsmerking for elektrisk anlegg. Dette kan medføre en del ulemper med at man ikke klarer å koble fysiske objekter opp mot objekter i BIM-modeller når det er en annen kode som er benyttet for fysisk

merking. Merking av objekter vil også være inkonsekvent når merkekrav ikke er entydig. Dette igjen vil føre til uoverensstemmelser mellom informasjonskilder. Det kreves derfor at de som skal utføre drift og vedlikeholdsoppgaver har lokalkunnskap og kjenner anlegget godt. Når man i fremtiden går for den nye driftsmodellen i større grad, vil det derfor være større behov for entydig merking slik at hvem som helst kan gjenkjenne samt utføre vedlikehold på objekter i anlegget.

Diskusjonen tar ikke sikte på å kritisere dagens merkingskrav, men forsøker å belyse problemstillingen på en nøytral måte. På bakgrunn av dette anbefales det derfor å tydeliggjøre krav for merking både for objekter i modeller og fysisk ute i sporet slik at merking samsvarer med hverandre. Merking skal være unik for å ikke skape forvirring og uoverensstemmelser.

Videre utvikling og utviklingstrender nasjonalt

Funn viser at videre utvikling av BIM til fasilitetsstyring innen jernbanesektoren hovedsakelig vil dreie seg om informasjonsutveksling, informasjonsvalidering og lagring av informasjon. Ifølge et intervjuobjekt er fokuset for BIM flyttet fra geografisk info til ikke-geografisk info i modeller. Bane NOR har gjennom «KIM prosjektet» og «KIM 2.0» startet med å strukturere og tydeliggjøre sine informasjonskrav. For enkelte fag som f.eks. bru og tunnel har man kommet så langt at det er mulig å «drifte etter modell» om ca. 3-5 år. Maskinvalidering er også en mulighet for å sikre datakvalitet. Det vil også etter hvert være behov for å utvikle et BIM-arkiv som kan ta imot BIM-modellene til lagring.

Utviklingstrender avdekket i både litteraturstudien og empirien er digital tvilling, MMI, modellbasert plattform BIM og ISO 19650.

Både empirien og teorien viser at simuleringer i «digital tvilling» kan benyttes i alle faser for å optimalisere anlegget fra et FDV perspektiv. En digital tvilling skal gjenspeiler det faktiske anlegget som er bygd eller skal bygges og inneholder derfor all den informasjonen som trengs for å kunne drifte og vedlikeholde anlegget på en effektiv måte.

MMI kan bidra til å standardisere og tydeliggjøre krav for detaljeringsgrad, geometri og informasjon i modeller i ulike faser til et modellbasert prosjekt (Norheim *et al.*, 2020). Den kan hjelpe driftsorganisasjon til å samle inn ønsket informasjon gjennom prosjektets livsløp. Ifølge et intervjuobjekt vil MMI benyttes i modellbasert prosjekter fremover.

ÅpenBIM er et annet viktig utviklingstema for at datautveksling skal gå sømløst fra prosjekterings- og byggefasen til driftsfasen. Integrasjon mellom åpenBIM og GIS for jernbaneinfrastruktur gir også visse fordeler ettersom jernbanestrekning ofte er i en større

geografisk skala. Det å kunne orientere seg rundt hva som ligger i nærheten av jernbaneinfrastruktur vil effektivisere planleggingen og selve arbeidet til driftspersonellene. Informasjon i ÅpenBIM kan også understøtte og effektivisere drifts og vedlikeholdsoppgaver. Standardisering av informasjonsflyt ved hjelp av prinsipper og krav stilt i ISO 19650-serien vil bidra til bedre informasjonsflyt på tvers av ulike bransjer og prosjekter i alle faser. Den kan også bidra til sikrere informasjonsforvaltning med tanke på sensitiv data i modeller (Standard Norge, 2020). Et intervjuobjekt har påpekt at Bane NOR og Statsbygg vil samkjøre sin implementering av ISO 19650.

5.1.2 Utviklingen internasjonalt

Kartleggingsarbeid utført av Matarneh *et al.* (2019) viser at det er en stigende trend for antall artikler som omhandler BIM til fasilitetsstyring på verdensbasis fra 2008-2018. I jernbanesektoren skjer det også utvikling av åpen standard som f.eks. IFC rail. IFC rail er en internasjonal åpen standard og er også et samarbeidsprosjekt mellom ulike land og aktører som inkluderer Bane NOR.

Generelt sett er det positiv utvikling innenfor BIM til fasilitetsstyring internasjonalt. Men funn fra litteraturgjennomgang tyder på at det er lite forskning som diskuterer hvordan man kan praktisere BIM til fasilitetsstyring i jernbanesektoren eller i samferdsel generelt. Det meste av forskning er vinklet mot bygningssektoren. Derfor er det vanskelig å trekke konklusjoner på hvordan utviklingen er internasjonalt for BIM til fasilitetsstyring i jernbanesektoren. Tekniske utfordringer som f.eks. informasjonsutveksling og interoperabilitet er felles for begge sektorer, noe som gjør at visse erfaringer og kunnskaper kan være overførbare. Positiv utvikling for å løse disse utfordringene innen byggesektoren vil derfor også bidra til utvikling for bruk av BIM til fasilitetsstyring i jernbanesektoren på verdensbasis.

5.2 Drivere for implementering

I litteraturgjennomgangen kommer det frem at innovasjon og bærekraftig utvikling, etterspørsel samt konkurranse i markedet er de mest sentrale drivere for implementering av BIM til FDV. Av empirien kommer det frem at etterspørsel og digitalisering av jernbane er de to hoveddriverne for implementering.

Digitalisering og innovasjon i bygg- og anleggsbransjen har blitt en trend. Samarbeid mellom byggherrer som Statsbygg og Statens Vegvesen i store prosjekter som FRE16 vil kreve at Bane NOR benytter BIM som samarbeidspartnerne. Det å utvide bruk av BIM til driftsfasen

gir også ytterligere fordeler ettersom man allerede har tatt i bruk BIM i prosjekterings- og byggefasen (Byggtjeneste, 2011). Ifølge intervjuobjektene er dagens FDV-dokumentasjon i mindre grad oppdatert når det gjelder vedlikehold eller endringer i anlegget. Dette medfølger feil og uoverensstemmelser mellom tegninger og vedlikeholdssystem. Med Bane NORs nye driftsmodell vil mange av vedlikeholdsoppgaver utføres av leverandører som ikke nødvendigvis kjenner anlegget så godt. Dette krever igjen at informasjonen og dokumentasjon de får fra byggherre er nøyaktig og oppdatert. Om man tar i bruk BIM i driftsfasen, vil mengden nødvendig dokumentasjon bli mindre ettersom info for drift og vedlikehold finnes i selve BIM-modellene. Det kan også minske tidsbruken for å finne dokumentasjon hos driftsleverandørene. Etterspørsel for å kunne forbedre dagens FDV-rutiner er derfor en hoveddriver for å ta i bruk BIM i driftsfasen.

5.3 Bruksområder og fordeler

Det å kartlegge hva BIM skal brukes til og hvilke fordeler den gir i driftsfasen er viktig for identifisering hvilken informasjon som skal samles inn i ulike faser i et prosjekt (Cavka, Staub-French og Poirier, 2017).

Georeferert BIM med informasjon kan brukes til å planlegge og effektivisere FDV-prosesser i driftsfasen. Bruksområder avdekket i litteraturstudien er noen flere enn det som ble belyst under intervjuene. Det å benytte BIM-modeller til arealforvaltning er ikke nevnt under intervjuene. Dette kan være fordi arealforvaltning er et tema som byggprosjekter drar mere nytte av, mens for jernbane kan dette være mindre viktig da rammene for arealbruk er i større grad fastsatt ut fra gitt regulering og standarder. Likevel er arealforvaltning et potensiale for jernbaneprosjekter med tanke på tekniske bygg eller stasjonsbygninger. Energioppfølging og beredskapshåndtering er også ikke blitt avdekket under intervjuer. Det kan muligens være at disse bruksområder er noe lavere prioritert med tanke på anvendelse av BIM hos intervjuobjektene.

I litteraturstudien er det også avdekket at man kan benytte BIM i ulik utstrekkelser til forskjellige formål. Etter gjennomførte intervjuer og litteraturgjennomgang virker det ut til at en kombinert bruk av 3D, 4D og 5D BIM kan være aktuelt til å understøtte FDV-prosesser. Bane NOR har definert 6D BIM som miljøoppfølging og 7D for modellbasert FDV. Men både i 6D og 7D BIM vil man ha behov for kombinasjon av funksjoner fra 3D, 4D (tid) og 5D

(kostnad) BIM. Det virker slik at Bane NOR har benyttet BIM i 6D og 7D for å definere hvor moden BIM er til ulike bruksformål.

BIM til FDV i driftsfasen

BIM har blant annet muligheten til å visualisere et ferdig anlegg med informasjon, en såkalt digital tvilling. Empirien og teorien sier at dette vil hjelpe driftspersonell til å bedre forstå hvordan anlegget er bygd opp og kan derfor brukes til opplæringsformål. Geografisk info i BIM kan bidra til rask identifisering av objekter og integrasjon med GIS vil hjelpe driftsorganisasjon til å orientere forholdet rundt seg. Ved integrasjon med sensorer eller kameraer i droner og tog kan man automatisere inspeksjon uten å måtte dra ute i anlegget ifølge flere intervjuobjekter og Costin *et al.* (2018). Man kan derfor sanntidsovervåke anlegget via dets digitale tvilling. En annen fordel med dette er at man kan arbeide på sporet uavhengig av togtrafikken. Ifølge et intervjuobjekt kan man ved hjelp av en digital tvilling simulere om man klarer å utføre vedlikeholdsarbeid i deler av strekningen uten togstans. Dette vil bidra til økt kapasitet for togframføring, men det vil også gi driftspersonell en sikrere hverdag og besparelser i reisetid. Bane NOR har allerede begynt med å bruke sensorer for å predikere feil i sporet samt for å detektere rasvarsling (Bane NOR, 2020b; 2020f). Droner er også blitt brukt til å smøre sporveksler eller utføre inspeksjonsarbeid (Bane NOR, 2018; 2021b). Det å integrere droner, sensorteknologi og BIM kan minske behovet for å lagre store mengder data ettersom man kan få tilgang til sanntidstada via sensorer eller droner ifølge Costin *et al.* (2018). Laserskanning er også en teknologi som kan integreres med BIM for å gi økt nøyaktighet og effektivitet ved inspeksjon av jernbaneinfrastruktur sammenlignet med målevogn. Sammenligning av resultater fra laserskanning og BIM kan brukes til å lettere oppdage avvik. Teknologien er allerede blitt tatt i bruk for å skanne eksisterende banestrekninger.

På bakgrunn av empirien og teorien er det klart at den ikke-geografiske informasjonen i BIM-modeller er det viktigste for driftsorganisasjon. Denne informasjonen kan blant annet brukes til å bestille reservedeler og lage fornyelsesbudsjett i driftsfasen. Ifølge Becerik-Gerber *et al.* (2012) kan BIM løse utfordringer forårsaket av mangelfull FDV-dokumentasjon ved at BIM-modellene selv fungerer som informasjonskilder med strukturert data for hele anleggets livsløp. For å kunne effektivisere drifts og vedlikeholdsoppgaver kreves det at man benytter georeferert BIM-modeller med nødvendig informasjon hvor man kan stedfeste og hente ut den informasjonen man trenger for å utføre arbeidene. Både empirien og teorien viser at

Georeferert BIM-modell med informasjon kan understøtte alle FDV-prosesser på strategisk, operativt og taktisk nivå.

BIM til FDV i tidlige faser

Funn viser at BIM også kan brukes i tidlige faser til å optimalisere det prosjekterte anlegg slik at anlegget blir enkelt å drifte og vedlikeholde i driftsfasen. Et intervjuobjekt mener at man kan simulere ulike scenarioer og teste ulike driftsoperasjoner i den digitale tvillingen før bygging. Konseptet «design for maintance» omhandler at man samler rotårsaker til feil som er knyttet til drift og vedlikehold i en informasjonsdatabase for å unngå samme feil i neste prosjekt ifølge Liu (2012) og Liu og Issa (2016). Begge disse eksemplene viser den potensielle viktigheten av å ivareta driftsorganisasjons interesser i tidlige faser når man fortsatt har mulighet til å påvirke anleggets utforming. Dette vil kunne gi stor nytte for drift- og vedlikeholdsprosesser som opptar store deler av anleggets livsløp både kostnadmessig og tidsmessig. Bane NORs vedlikeholdssystem Maximo har slike funksjoner som kan fange opp avvik og dokumentere rotårsaker, men ifølge Motamedi, Hammad og Asen (2014) klarer ikke et slik CMMS system å fange opp alle avvik når forholdene og hierakiet er komplisert. Georeferert BIM med informasjon kan lettere avdekke slike forhold ettersom det er lavere terskel for å forstå hvordan komponentene er bygd opp via BIM og hva slags informasjon som ligger i dem.

5.4 utfordringer og muligheter

Utfordringer og muligheter vil diskuteres etter de temaene som er blitt bestemt i tidligere kapittel: tekniske utfordringer, prosessrelaterte utfordringer, tankesett, avkastning på investering og juridiske utfordringer.

5.4.1 Tekniske utfordringer

Funn viser at tekniske utfordringer ofte er knyttet til hvordan man kan kartlegge, samle, utveksle, håndtere og oppbevare nødvendig informasjon via programvarer og systemer. Det fremkommer i intervjuene og litteraturstudien at de største utfordringene er teknologirelaterte. De tekniske utfordringer vil diskuteres med tanke på informasjonsstyring, herunder informasjonskrav og informasjonsflyt, interoperabilitet og programvarer.

Informasjonskrav og informasjonsflyt

I forskningsarbeidet til Fuglesang (2017) er det beskrevet at driftsorganisasjoner er lite involvert i BIM-modellering noe som gjør at de har lite påvirkning når det gjelder utforming, materialvalg og konstruksjon. I intervjuene ble det undersøkt graden av involvering av driftsorganisasjon i de tidlige fasene. Funnene viser at driftsorganisasjon er involvert fra de

tidlige fasene i prosjektene og at dette er en del av Bane NORs interne rutine. Dette tilsier at driftsorganisasjon har en viss mulighet til å påvirke prosjektets utforming i tidligere faser hos Bane NOR. Ifølge Rae, Gledson og Littlemore (2019) kan det være at driftsorganisasjon ikke er blitt behandlet som en fremtredende interessent i prosjektteamene og at det derfor ikke har blitt lagt vekt på driftsorganisasjonens interesser. Liu og Issa (2016) mener at dette kan også forårsakes av at prosjekterende og entreprenører ikke har erfaring med hvilket informasjonsbehov driftsorganisasjon har. Siden det ikke er utført noe intervju med prosjekterende eller entreprenører, er det vanskelig å konkludere.

Av empirien kommer det frem at dette også kan forårsakes av at driftsorganisasjon har for lite kunnskap om BIM og av denne grunn ikke vet hvordan de skal stille krav til modellene. Dette kan begrense fordelene av å ta i bruk BIM i driftsfasen i ifølge Rae, Gledson og Littlemore (2019). Et av intervjuobjektene presiserte at man trenger å bygge en sterkere bro mellom BIM og FDV miljø for å løse dette problemet. Kursing, opplæring og kunnskapsdeling kan heve kompetansenivå for organisasjonen. Bedre samarbeid og kommunikasjon mellom prosjektteam og driftsorganisasjon kan bidra til bedre implementering av informasjonskrav i modeller.

En annen grunn til at informasjonskrav ikke er til stede er at informasjonskrav er for omfattende til å defineres og det er vanskelig å definere hvilken informasjon som skal brukes til hvilken tid i prosjektets livsløp. Dette fremkommer både fra empirien og teorien i denne oppgaven. I tillegg viser empirien at informasjonen driftsorganisasjon trenger per i dag er lite strukturert som gjør at man ikke klarer å identifisere informasjonen i modellene.

For å kunne tydeliggjøre informasjonskrav og strukturere informasjon i modellene, åpner det seg ulike muligheter. MMI er blitt nevnt under intervju og er også et utviklingstema i KIM prosjektet. MMI nivåer beskriver detaljeringsgrad, geometri og informasjon i modellbasert prosjekter. Dette vil bidra til å samle inn den informasjonen byggherre trenger i ulike faser i et prosjekt og informasjonskravene fremkommer tydelig i «MMI manualen» til et spesifikt prosjekt. Dagens MMI nivå til samferdsel er utviklet til MMI 500 – «som bygget». MMI 500 inneholder all informasjon som er samlet fra planlegging til ferdigstillelse. Det vil være overflødig informasjon som ligger i modellen som kan være mindre relevant for driftsorganisasjon ettersom de kan ha et annet informasjonsbehov. Et intervjuobjekt mener også at en driftsmodell vil være annerledes enn bygningsmodell. Ifølge Garcia *et al.* (2018) kan man utvide og detaljere MMI til MMI 600 som innebærer å implementere informasjon i modeller som kan understøtte drifts og vedlikeholdsoppgaver i driftsfasen. Videre detaljering

av MMI 600 kan bidra til at man er nødt til å definere hvilke informasjonsbehov driftsorganisasjonen har i MMI 600.

mvdXML er et format for MVD og kan benyttes til å maskinvalidere informasjonen som ligger i modeller ifølge buildingSMART. På den måten kan man unngå å måtte sjekke manuelt om innhold i modeller tilfredsstiller byggherres krav. Dette vil også bidra til å strukturere den informasjonen driftsorganisasjonen trenger når modeller overleveres til byggherre. Ifølge et intervjuobjekt vil det vektlegges informasjonsflyt iht. ISO 19650 i fremtiden hvor kun nødvendig informasjon i modeller blir synkronisert med det fysiske anlegget. Dette krever ifølge intervjuobjektene at informasjonen i modeller er maskinlesbar ved hjelp av åpne APIer eller åpne formater som gir mulighet til maskinvalidering av kravene mot informasjonen i modeller. I tillegg påpeker intervjuobjektet at fremtidige krav vil samles i en informasjonsdatabase som «BIMQ» hvor man kan maskinvalidere modeller mot databasen. Det er per i dag Statsbygg i Norge som benytter BIMQ-databasen. Det å kunne benytte en slik kravdatabase krever også en mere utstrakt bruk av åpne standarder som f.eks. IFC, BCF og MVD (Statsbygg, 2021). Selv om kravdatabasen ikke er utprøvd i jernbanesektoren enda, ser det ut til at man kan få en løsning hvor driftsorganisasjonen kan stille kravene sine i et slikt system. Tett samarbeid mellom byggsektoren og jernbanesektoren vil bidra til denne utviklingen. Maskinvalidering av informasjon i modeller kan også realiseres via «semantisk web» og «linked data» teknologi ettersom informasjon publisert ved hjelp av semantisk web blir gjort maskinlesbar og «linked data» kan koble denne informasjonen sammen. Ifølge Borrmann *et al.* (2018) kan dette bidra til å forenkle sammenkobling mellom BIM-modeller og andre bygningsrelaterte systemer.

En annen måte å strukturere og samle inn data på er COBie. Ifølge Borrmann *et al.* (2018) kan COBie baseres på eksisterende åpne standarder som f.eks IFC og MVD. COBie kan brukes til å samle informasjon fra prosjektstart til driftsfasen, noe som kan lette samlingsprosesser for generert prosjektdata. I tillegg kan COBie kategorisere og strukturere informasjon på en praktisk og enkel måte (Eastman *et al.*, 2011; Liu, 2012). Men det er viktig å påpeke at det er fortsatt en lang prosess for implementering av COBie og mange mener at COBie ikke er brukervennlig nok (Borrmann *et al.*, 2018). Dette kan også potensielt være årsaken til at ingen intervjuobjekter har nevnt COBie under intervjuer. Grunnen til at COBie er nevnt i denne diskusjonen er at COBie har interoperabilitet med Bane NORs drift og

vedlikeholdssystem «Maximo» og er også et anerkjent konsept som er mye diskutert av ulike forskere ifølge Borrmann *et al.* (2018).

Interoperabilitet

Interoperabilitet er også en kjent utfordring som er blitt avdekket under intervjuer og litteraturstudie. Dårlig interoperabilitet fører til ekstra manuelt arbeid for data utveksling og verdifull informasjon kan gå tapt når man overleverer modeller til driftsfasen (Eastman *et al.*, 2011). Ifølge et intervjuobjekt er det dårlig interoperabilitet mellom modelleringsverktøy som er mye av grunnen til at prosjektinformasjon allerede går tapt i prosjekteringsfasen. Dette skjer når man utveksler data mellom ulike aktører og det må løses for at man skal kunne samle inn informasjon i prosjekterings- og byggefasen på en robust måte. I tillegg til dette må man også kunne løse utfordring for overføring av nødvendig data fra prosjekterings- og byggefasen til driftsfasen og Bane NORs vedlikeholdssystem. Åpne standarder eller formater vil åpne muligheter for å løse utfordringer knyttet til interoperabilitet. Per i dag er det ingen åpne formater som fungerer optimalt for jernbanefagene, men Bane NOR er med på å støtte utviklingen av åpne formater som f.eks. IFC rail. Det er et positivt tegn når byggherrer og andre aktører går sammen for å utvikle standarder. Det finnes også andre åpne formater som GML eller InfraGML som er spesielt tilpasset for geodata i infrastrukturprosjekter. Selv om åpne formater byr på muligheter for informasjonsutveksling, må byggherre og driftsorganisasjon være med å sette informasjonskrav og ha kontroll på det de eier ifølge intervjuobjektene. Klare informasjonskrav vil bidra til å samle inn data så tidlig som mulig i et prosjekt slik at nødvendig informasjon følger med inn til driftsfasen.

Modelleringsverktøy og BIM-arkiv

På bakgrunn av empirien fremkommer det at det per i dag mangler et BIM-arkiv som kan håndtere og arkivere modeller samt informasjon i modeller. Det er ikke funnet så mye info fra eksisterende forskning som tar for seg denne problemstillingen. Ifølge Eastmann *et al.* (2011) finnes det tre ulike typer BIM servere, og en av dem er BIM-server for fasilitetsstyring. Ut ifra det som kom frem under litteraturstudiene virker det ut til at det ikke finnes et eget BIM-arkiv som er tiltenkt forvaltning, drift og vedlikehold av jernbane eller infrastrukturprosjekter. Årsaken kan være at hovedfokuset for BIM-systemutviklere ligger på byggsektoren og at jernbane eller infrastruktur generelt ikke har blitt prioritert enda. Det trengs derfor et

spesialtilpasset BIM-arkiv for infrastrukturprosjekter eller for jernbane som kan integreres med Bane NORs eksisterende vedlikeholdssystem Maximo.

Et annet viktig funn er som nevnt at programvarer utviklet i dag ikke er optimalisert for prosjektering og modellering av jernbanetekniske fag. Det er fortsatt tekniske utfordringer som ikke er løst enda i prosjekterings- og byggefase i jernbanesektoren. Prosesser for integrering, utveksling og håndtering av informasjon i BIM-modeller og videre inn til driftsfasen vil være enklere hvis utfordringer i tidligere faser er løst.

5.4.2 Prosessrelaterte utfordringer

Funn viser at en av de prosessrelaterte utfordringene kan være behov for å effektivisere forretningsprosessen for implementering av BIM i eksisterende infrastruktur (Costin *et al.*, 2018). Dette vil være en utfordrende prosess med tanke på endringer i dagens arbeidsrutiner og arbeidsmetodikk ifølge intervjuobjektene. Ulik modenhet i organisasjonen kan også by på utfordring.

Et intervjuobjekt mener at endringsledelser og generell modning i bransjer kan bidra til bedre implementering. Love *et al.* (2014) påpeker også at endringsledelsesprosessen må tilpasses til den enkelte driftsorganisasjonen og man vil trenge en implementeringsstrategi.

Endringsprosessen er også dynamisk som gjør at driftsorganisasjon og anleggseier må følge med på utviklingen for at implementering er optimalisert.

Andre prosessrelaterte utfordringer kan f.eks. være mangel på kontraktspråk for BIM, uklare rolledefinisjon og ansvarsområder for aktører osv. Dette må kontraktfestes ved prosjektstart ifølge Eastmann *et al.* (2011), Becerik-Gerber *et al.* (2012) og Costin *et al.* (2018).

5.4.3 Tankesett

Mangel på motivasjon til endring er en kjent utfordring i organisasjoner ifølge Costin *et al.* (2018). Empirien viser at en grunnleggende årsak kan være at det er demotiverende å endre dagens arbeidsrutiner og det å adoptere ny teknologi vil kreve at driftspersonell blir bedre på datahåndtering.

Et annet funn er at dagens BIM ikke er fullstendig implementert. Dette kan føre til ekstra arbeid som vil svekke tilliten til teknologien og skape forvirring i organisasjonene ifølge Borrmann *et al.* (2018). Av empirien fremkommer det at enkelte har opplevd at dagens BIM ikke er modent nok og at man må gjøre dobbeltarbeid for overlevering av modeller i tillegg til 2D-tegninger. Andre har erfaring at BIM kan bidra til å kutte ned antall tegninger som arkiveres. Årsaken kan være at man lærer av erfaringer og at man vil oppleve en modning

både i prosess og teknologi. Casestudier eller presentasjon av prosjektresultater kan hjelpe driftsorganisasjon til å bedre forstå teknologi og metodikk (Costin *et al.*, 2018). Kursing, opplæring og kunnskapsdeling kan også bidra til at man har bedre forståelse for teknologien og prosess som brukes.

5.4.4 Juridiske utfordringer

Gjennom litteraturstudien kommer det frem at forhold rundt eierskap av data, tilgang og bruksrett til informasjon samt arkivering og oppbevaring av modeller ved skybasert plattform vil kunne by på utfordringer. Dagens lovverk som arkivloven og personvern må ivaretas (Standard Norges komité SN/K 379, 2020). Både Costin *et al.* (2018) og Eastman *et al.* (2011) anbefaler at man kontraktfester og spesifiserer disse forholdene for hvert prosjekt som etableres ved prosjektstart. Det skjer stadig lovendringer og disse utfordringer kommer til å bli vedvarende ifølge Eastman *et al.* (2011).

Under intervjuene er det ingen som har tatt opp juridiske utfordringer. Dette betyr ikke at temaet ikke er viktig. Grunnen kan potensielt være at det er mest geometrisk informasjon som ligger i modellen per i dag og annen objekt informasjon er typisk generisk. Temaer rundt eierskap av informasjonen kan derfor ha mindre fokus. Det kan også være at intervjuobjekter ikke har tilstrekkelig kjennskap til den relatert jussen.

Gjennom denne oppgaven er det introdusert en del juridiske utfordringer som kan fremkomme i fremtiden når BIM vil inneholde mer informasjon enn i dag.

5.4.5 Avkastning på investering

Funn viser at det å implementere BIM medfører potensielt store kostnader som blant annet innebærer kostnader til lisenser, programvarer, maskinvarer, kursing og opplæring samt andre mindre synlige kostnader som er knyttet til endring av dagens arbeidsmetodikk. Avkastning på investering relatert til BIM-implementering til FDV er derfor et viktig element å se på når en investeringsbeslutning skal fattes. I motsetning til kostnader, kan det være utfordrende å måle avkastningen ifølge Gao og Pishdad-Bozorgi (2019) da driftsfasen ofte strekker seg over lang tid i forhold til prosjektering- og byggefasen. LCC-analyser kan benyttes for å måle kostnader og evt. gevinster man kan ha ved implementering av BIM i driftsfasen.

Empirien sier at større prosjekter kan ha mer nytte av BIM enn mindre prosjekter ettersom det ofte leverer store mengder av dokumentasjon samt at tverrfaglig samarbeid og kommunikasjon er viktigere for større prosjekter. Det er også slik at små prosjekter ofte har begrenset fagressurser og timer som gjør at implementering av BIM blir mindre aktuelt.

Tanken med å innføre BIM til FDV er at det skal kunne lette prosesser og forhøye leveranse kvaliteten og evt. kunne kutte ned antall tegninger som arkiveres. På grunn av de høye kostnader ved implementering av BIM, kan det hende at det ikke lønner seg å implementere BIM for mindre prosjekter. Til tross for at mindre utbyggingsprosjekter ikke har like strenge krav til BIM og avkastning er mindre synlig, har et av intervjuobjektene opplyst at Bane NOR også jobber med å få BIM inn i de små prosjektene. Dette virker ut som at Bane NOR ser verdien av BIM i både de store og de små prosjektene. Det er likevel noe uklart hvor mye ekstra innsats som må til for at BIM blir tatt i bruk i driftsfasen. Modning rundt bruk av BIM i ulike bransjer og organisasjoner kan bidra til at flere får grunnleggende kunnskaper om BIM. Kunnskapsdeling mellom ulike aktører kan også bidra til at prosjekterende og entreprenører tilegner seg mer kunnskap om hvilke behov driftsorganisasjon har. Det er også rimelig å forvente av programleverandører vil utvikle verktøy som er bedre tilpasset til jernbanebruk. Konkurransen i markedet kan også redusere kostnader samt øke tilgjengeligheten og brukervennligheten for BIM. Modning av åpne standarder for jernbane muliggjør enklere og sikrere datautveksling mellom ulike systemer. Alt det ovennevnte kan bidra til bedre og raskere implementering av BIM til FDV for både store og små jernbaneprosjekter.

6 Oppsummering og konklusjon

I dette kapittelet vil det gis en oppsummering av svarene på forskningsspørsmålene og en konklusjon til problemstillingen. Videre vil det gis anbefalinger til byggherre, rådgivere/entreprenører og programvareleverandører samt forslag til videre arbeid.

6.1 Oppsummering

Forskningsspørsmål 1: Utvikling nasjonalt og internasjonalt

For å kunne belyse utviklingen av BIM til FDV nasjonalt, har dagens status blitt kartlagt. Undersøkelsene utført i oppgaven viser at BIM er lite brukt til FDV i jernbanesektoren per dags dato. Dagens BIM er ikke godkjent som teknisk dokumentasjon hos Bane NOR. Modeller mangler ofte informasjon driftsorganisasjon trenger for å kunne drifte anlegget.

Bane NOR har pågående prosjekter og prosesser for å tydeliggjøre informasjonskrav i BIM-modeller. De har blant annet støttet utviklingen av åpne standarder og har samarbeid med andre sektorer for utvikling innen ulike felt som f.eks. digital tvilling, MMI, «semantisk web» og «linked data» osv. Funn i oppgaven tyder på at videre utvikling av BIM til fasilitetsstyring innen jernbanesektoren i hovedsakelig vil dreie seg om informasjonsutveksling, informasjonsvalidering og lagring av informasjon. Utviklingen for enkelte fag som bru og tunnel har kommet lengre slik at det vil sannsynligvis være mulig å drifte «etter modell» om 3-5 år.

Internasjonalt er det også avdekket en stigende trend på antall artikler om BIM til fasilitetsstyring. Dette tyder på økt bevissthet rundt BIM til FDV. Funn fra litteraturgjennomgang viser at BIM til fasilitetsstyring i jernbanesektoren eller samferdsel generelt er lite diskutert. Det meste av forskning er vinklet mot byggsektoren. Ettersom mange utfordringer som for eksempel informasjonsutveksling og interoperabilitet er delt på tvers av sektorer, er det mulig å overføre noe av erfaringene og kunnskapen fra byggsektoren til jernbanesektoren.

Forskningsspørsmål 2: Drivere for implementering

I oppgaven kommer det frem at etterspørsel fra markedet samt økende grad av digitalisering og krav til dette er påpekt som viktig for videre implementering av BIM til FDV.

Etterspørsel fra Bane NOR for å forbedre dagens FDV-prosesser samt endring av driftsmodeller i organisasjonen fører til at byggherren vil ha større behov for kontroll på sine eierdeler. Funn i intervjuer viser at det er mangelfull FDV-dokumentasjon på eldre anlegg. Tegningsdokumentasjon blir ofte ikke oppdatert når vedlikehold finner sted på grunn av

manglende kunnskap til CAD-verktøy i driftsorganisasjonen. Bruk av BIM i driftsfasen kan bidra til mindre arkivering av dokumentasjon ettersom mye av infoen for drift og vedlikehold vil finnes i BIM-modellene. Det forventes også at tidsforbruk vil reduseres med tanke på å finn den riktige eller relevante informasjonen. BIM som produkt, samarbeidsprosess og styringsverktøy kan lette prosesser og gi driftsorganisasjonen bedre kontroll i driftsfasen.

En annen hoveddriver for implementering er økende krav til digitalisering og innovasjon. Digitaliseringstrenden er sterk i byggsektoren og vegsektoren. Begge sektorene har satset på BIM som samhandlingsverktøy. Det er også rimelig å anta at en lignende utvikling og trend vill komme til jernbanesektoren. I store samarbeidsprosjekter som «FRE16» vil det være fordelaktig å standardisere krav, metoder og teknologier for å optimalisere samarbeidet på tvers av bransjer.

Forskningsspørsmål 3: Bruksområder og fordeler

Det er essensielt å definere bruksformål for BIM slik at informasjonskravene til BIM-modeller kan struktureres på en god måte. I oppgaven kommer det frem at georeferert BIM med nødvendig informasjon kan brukes til å optimalisere FDV-prosesser både i prosjektering-, bygg- og driftsfasen.

BIM i driftsfasen

- Rask lokalisering av komponenter

Geografisk info i BIM kan redusere tid til lokalisering av objekter i anlegget.

Integrasjon mellom BIM og GIS kan hjelpe driftsorganisasjon til å orientere i omgivelsene rundt anlegget.

- Digital FDV med umiddelbar tilgang til info

Ved integrasjon med sensorer eller kameraer på droner og tog kan man utføre inspeksjon uten å dra fysisk ut i anlegget. Sanntidsovervåking av anlegget via dets digitale tvilling vil kunne gi økt nøyaktighet, sikkerhet og effektivitet for inspeksjon av jernbaneinfrastruktur. Laserskanning kan også brukes til å skanne anlegget og identifisere eventuelle underliggende feil som er vanskelig å oppdage for mennesker. Integrasjon mellom BIM og laserskanning vil kunne bidra til å lettere avdekke avvik

enn ved kjøring av målevogn. Integrasjon med andre teknologier kan også minske datalagringsbehov.

- Fordeler med bruk av BIM i opplæringsøyemed, renovasjonsstrategier og markedsføring

Ved hjelp av BIM har man mulighet til å visualisere et ferdig anlegg med all relevant informasjon, en såkalt «digital tvilling». Dette kan hjelpe driftspersonell å forstå hvordan anlegget er bygd opp. Ifølge eksisterende forskning kan BIM med vedlikeholdshistorikk brukes til å utvikle reoveringsstrategier. «Hva-hvis» analyser kan utføres og bidra til effektiv beslutningstaking. Markedsføring er også et bruksområde hvor Bane NOR kan lettere involvere publikum og interessenter ettersom 3D-visualisering av jernbane er lettere å forstå enn 2D-tegninger. Opplæring av nyansatte kan også skje ved at man benytter den digitale tvillingen til å undersøke komponenter og utstyr, lese relaterte dokumentasjon eller virtuelt «gå» rundt i anlegget for å gjøre seg bedre kjent. Dette kan være både tid og kostnadsbesparende.

- Vedlikeholdsoptimalisering

Funn viser at man kan benytte digital tvilling til å simulere om drifts- og vedlikeholdsoppgaver kan utføres når sporet er i drift. Dette kan øke oppetiden i jernbanenettet og gir driftspersonell en sikrere hverdag. Vedlikeholdsprosedyrer kan ved hjelp av visualiserings- og analysefunksjoner i BIM lokalisere feil og identifisere rotårsaker til feil. BIM kan også brukes til forebyggende vedlikehold hvor man kan identifisere utsatte deler av anlegget og predikere feil i komponenter som må skiftes ut i nær fremtid.

Andre bruksområder inkluderer arealforvaltning som kan være relevant for komplekse stasjonsområder eller tekniske bygg innen jernbanen. Videre kan oppfølging av energiforbruk samt beredskapshåndtering være andre temaer for bruk av BIM i driftsfasen.

BIM til FDV i tidligere faser

I denne studien kommer det også frem at man kan benytte «digital tvilling» før bygging til å optimalisere anlegget med tanke på drift. Konseptet «design for maintenance» er også tatt opp

i eksisterende forskning som innebærer at man samler informasjon rundt tidligere feil på anlegg i en database for at man potensielt kan unngå samme feil i neste prosjekt.

Forskningsspørsmål 4: utfordringer og muligheter

I dette forskningsarbeidet er de potensielle utfordringene inndelt i fem kategorier: tekniske, prosessrelaterte, juridiske, økonomiske samt utfordringer relatert til tankesett. Tekniske utfordringer er identifisert som den største utfordringen og vil presenteres til slutt.

Prosessrelaterte utfordringer er ofte knyttet til effektivisering av prosessen rundt implementering av BIM i eksisterende infrastruktur. Endringer av rolledefinisjoner og ansvarsområder samt oppdateringer av kontrakter kan også by prosessrelaterte utfordringer. Dette krever at organisasjonen utvikler en implementeringsstrategi for hvert prosjekt og en endringsledelsesprosess som er tilpasset organisasjonen. Forholdene rundt rolledefinisjoner og ansvarsområder bør også kontraktfestes ved prosjektstart.

Juridiske utfordringer kan innebære uklart eierskap til data, tilgang til informasjon samt arkivering og oppbevaring av modellinformasjon på skybaserte plattformer. Fokuset på de juridiske utfordringene var lite blant intervjuobjektene. Det vil bli et viktigere tema i fremtiden når BIM-modeller vil inneholde mer ikke-geografisk informasjon.

Utfordringer i forbindelse med tankesett kan være manglende motivasjon til endring. Implementering av ny teknologi vil kreve større fokus på datahåndtering blant driftspersonellet. Funn viser også at ufullstendig implementering av BIM kan føre til ekstra arbeid som svekker tilliten til teknologien og skape forvirringer i organisasjonen. Kursing, opplæring og kunnskapsdeling kan bidra til bedre forståelse til anvendte metoder og teknologier. Presentasjon av prosjektrresultater kan også øke tilliten.

Når det gjelder økonomiske utfordringer, så dreier dette seg i hovedsak om å bevise at implementeringskostnadene av BIM i driftsfasene gir en akseptabel økonomisk gevinst for de involverte parter. Ved implementering av BIM vil man trenge lisenser, programvarer, maskinvarer, kursing og opplæring. Andre kostnader kan også være forårsaket av endringer av dagens arbeidsrutiner. LCC-analyser er derfor viktig for å kunne se på effekten av en implementering.

Tekniske utfordringer som er identifisert i oppgaven innebærer manglende informasjonskrav, informasjonsflyt, interoperabilitet mellom systemene, mangel på modelleringsverktøy og et BIM-arkiv som er tiltenkt jernbanebruk. For å kunne løse disse utfordringene kreves det tydeligere informasjonskrav, samarbeid mellom aktører, høyere

kompetansenivå, åpne standarder og programvarer tilpasset jernbane. MMI kan f.eks. brukes til å tydeliggjøre informasjonskrav ettersom de ulike MMI-nivåer beskriver detaljeringsnivå, geometri og informasjon i ulike faser av modellbaserte prosjekter. COBie er også en mulighet til å samle inn prosjektdata fra prosjekterings- og byggefasen som er etterspurt i driftsfasen. Åpne API-er, åpne standarder som IFC rail og GML kan bidra til sømløs overføring av data mellom ulike systemer. Informasjonen i fremtidig BIM-modeller vil være søkbart, noe som vil gjøre at maskinvalidering av datakvalitet blir enklere. Bransjestandard som ISO 19650 kan bidra til bedre informasjonsflyt og samarbeid mellom ulike aktører. Funn viser også at det vil være behov for å utvikle bedre modelleringsverktøy tilpasset jernbanebruk på bakgrunn av at prosjektdata går i dag tapt allerede i prosjekteringsfasen. Et BIM-arkiv som er tiltenkt samferdsel må også være på plass for at man kan håndtere og arkivere modellinformasjon til bruk i driftsfasen.

6.2 Konklusjon

Ved en helhetlig implementering av BIM er det funnet at man kan forenkle og effektivisere FDV. Det fremkommer også at ufullstendig implementering av BIM kan føre til overflødig informasjon som ikke er nødvendig i driftsfasen, dobbelt arbeid ved levering av både modeller og 2D-tegninger og som resultat av dette økt tidsbruk og kostnader. Ved ufullstendig implementering av BIM kan det også være en risiko for at driftsorganisasjonen ikke kan benytte de overleverte modellene til drift av anlegget. Videre er de høye implementeringskostnadene et viktig element som må vurderes. Identifiserte gevinster i driftsfasen kan kompensere for investeringskostnader relatert til BIM, men det er så langt ingen eksempler i Norge som kan brukes til å kvantifisere den økonomiske gevinsten når det gjelder bruk av BIM til FDV i jernbanesektoren. Driftsfasen utgjør en stor del av levetiden og kostnaden på et anlegg og dermed vil det også ta lengre tid før den fulle effekten ved bruk av BIM til FDV vil kunne erfares for jernbaneprosjekter.

6.3 Anbefaling

I dette underkapittelet ønsker undertegnende å gi noen anbefalinger til byggherre, entreprenører/rådgivere og programvareleverandører ut ifra funn avdekket i denne oppgaven.

I vedlegg 3 finnes det også en tabell som lister opp utfordringer for implementering diskutert i eksisterende forskning som kan være interessant for oppgavens målgruppe.

Byggherre:

- Tydeliggjøre merkingskrav for merking av objekter i modeller og ute i anlegget.

Funn viser at objekt-ID i BaneData ikke er konsekvent brukt for merking av objekter ute i anlegget. For fag som f.eks. elektro er det krav til å merke objekter med både TFM og BaneData ID. Dette strider mot at objekt-IDer skal være unike. Det virker også ut til at TFM ikke er blitt brukt så mye i drift og vedlikehold av jernbaneanlegg. Derfor anbefales det å tydeliggjøre krav for merking av objekter.

- Oppdatere styrende dokumenter med jevne mellomrom

Ved gjennomgang av Bane NORs styrende dokumenter er det funnet at noen dokumenter ikke er oppdatert på flere år. Det er også funnet at ikke alle de styrende dokumenter er listet opp i prosjekteringsveileder. Det anbefales å oppdatere disse dokumentene med jevne mellomrom. I Bane NORs Prosjekteringsveileder eller Teknisk Regelverk bør det vise en fullstendig liste over alle gjeldende styrende dokumenter.

- Kunnskapsdeling og kursing for å heve kompetansenivå innen BIM i driftsorganisasjon

Anbefalingen er basert på at informasjonskrav ikke er tydelig for BIM-modeller. Dette kan potensielt være forårsaket av manglende kunnskap og erfaring hos driftsorganisasjon innen BIM noe som kan medføre at de ikke vet hvordan krav bør stilles.

Entreprenører/rådgivere:

- Erfaringsoverføring og kursing for å heve kompetansenivå innen BIM til FDV

Det er gjennom intervjuprosessen funnet at rådgivere eller entreprenører takket nei til intervjuer på grunn av manglende erfaring for implementering av BIM til FDV.

Potensielle intervjuobjekter med rådgiver bakgrunn har vanligvis erfaring med BIM, men ikke med BIM til FDV. Derfor anbefales det kursing og erfaringsoverføring slik

at rådgivere får bedre forståelse for FDV. Funn viser også at det er entreprenørene som sitter med produktinformasjon og informasjon som trengs for videre drift og vedlikehold. Derfor er det viktig at entreprenøren har kunnskap til BIM og at de vet hvilken informasjon som skal samles og legges inn i modeller når informasjonskravet fremlegges.

- Bli kjent med Bane NORs styrende dokumenter og prosjektspesifikke krav i prosjekter
Dette er en generell anbefaling da det ligger veiledning rundt krav i disse dokumentene.
- Erfaringsoverføring mellom aktører ved avslutning av modellbaserte prosjekter for å bidra til videre utvikling

Det er også en generell anbefaling at man gjennomfører et evalueringsmøte ved avslutning av modellbaserte prosjekter for å finne ut hvorfor ting ikke fungerer som det skulle og hva som gikk bra og kan videreføres. Dette bidrar også til at ulike roller i et prosjekt kan bedre forstå hverandres behov.

Programvareleverandører:

- Bedre modelleringsverktøy for jernbanetekniske fag (føringsveier, kontaktledning, signal, spor osv.) som har mulighet til å legge inn metadata i objektnivå og kan eksporteres i åpne formater.

Funn viser at dagens modelleringsverktøy for jernbane ikke er godt nok tilpasset behovene og det oppleves eksempelvis vansker med å legge inn objekttegniskaper i modeller. I tillegg bør det kreves åpne filformater slik at man skal kunne utveksle modellinformasjon uten tap av data. Åpent format som IFC rail er ikke ferdig utviklet enda. Likevel vil det være behov for at fagene skal kunne eksportere modeller i åpne formater. Det er etterspørsel for et eller flere modelleringsverktøy for jernbanetekniske fag.

- Et BIM-arkiv som er kompatibel med Bane NORs vedlikeholdssystem Maximo og er tilpasset til jernbanebruk

Per i dag finnes det ingen BIM-arkiv for arkivering og håndtering av BIM-modeller som overleveres etter ferdigstillelse. Det vil være behov for et BIM-arkiv som er kompatibel med Maximo og takler arkivering og håndtering av stor mengde av data.

6.4 Videre arbeid

Forslag til videre arbeid er som følgende:

Videre utforskning av temaer tatt opp i KIM

Det kan f.eks. undersøkes hvordan man kan implementere MMI i objektnivå i samferdselsprosjekter og hvilke effekter det gir.

Maskinlesbart format

Om man ønsker å se på tekniske løsninger kan man undersøke hvordan man kan benytte mvdXML til å maskinvalidere informasjon i jernbaneprosjekter mot modellene. Alternativt kan man undersøke mulighetene rundt COBie ettersom det er kompatibelt med Bane NORs vedlikeholdssystem. Når åpne formater som IFC rail er bedre utviklet i fremtiden, kan man også teste overføring av informasjon mellom programvarene og systemene for å se hvordan åpne formater kan lette og automatisere informasjonsflyten.

LCC-analyser

I denne oppgaven fremkommer det at det kan være vanskelig å kvantifisere gevinster for implementering av BIM i driftsfasen. Oppgaven anbefaler derfor videre utforskning om hvordan man kan beregne livssyklus kostnader til et anlegg ved implementering av BIM.

Referanseliste

Bane NOR (2017) Håndbok for digital planlegging STY-600239. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/elkraft/veileder/STY-600239.pdf>.

Bane NOR (2018) *Selvkjørende robotdrone smører sporveksler*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/Arkiv/2018/selvkjorende-robotdrone-smorer-sporveksler/> (Hentet: 15.04.2021).

Bane NOR (2019a) *3D-modellering/BIM*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/kleverud-sorli/innhold/20192/3d-modelleringbim/> (Hentet: 17.10.2020).

Nytt dobbeltspor Sørli-Åkersvika (2019b). Regissert av Bane NOR.

Bane NOR (2019c) Håndtering av teknisk dokumentasjon - prosedyre STY-605016. Tilgjengelig fra: https://proing.opm.jbv.no/wiki/_media/fag/felles/sty-605016_001_001.pdf.

Bane NOR (2020a) Krav til infrastrukturdata og vedlikeholdsdokumentasjon ved overlevering fra byggefase til driftsfase - instruks. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/elkraft/veileder/STY-601704.pdf> (Hentet: 17.10.2020).

Bane NOR (2020b) *Vil bruke AI og maskinlæring for å inspisere jernbanen*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2020/vil-bruke-ai-og-maskinlaring-for-a-inspisere-jernbanen/> (Hentet: 28.02.2021).

Bane NOR (2020c) *Leverandørkonferanse for konkurranseutsetting av drift og vedlikehold av jernbanen*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/contentassets/73341a1f396d4b359a3866cd1ae60310/vedlegg/presentation-leverandorkonferanse-15.10.2020.pdf>.

Bane NOR (2020d) *Krav til informasjonsmodellering (KIM)*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/ringeriksbanenoge16/krav-til-informasjonsmodellering-kim/>.

Bane NOR (2020e) STY-605395 Krav til prosjektkode - veiledning.

Bane NOR (2020f) *Bane NOR tester digital rasvarsling*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2020/bane-nor-tester-digital-rasvarsling/> (Hentet: 28.02.2021).

Bane NOR (2020g) *Prosjekteringsveileder*. Tilgjengelig fra: <https://proing.opm.jbv.no/wiki/objektbibliotek/start>.

Bane NOR (2020h) *Bane NORs års- og bærekraftrapport for 2019 i splitter ny drakt*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2020/miljo-okt-produktivitet-og-effektivisering-preget-2019-i-bane-nor/> (Hentet: 17.01.2021).

Bane NOR (2021a) Håndbok for digital planlegging STY-600239. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/elkraft/veileder/STY-600239.pdf>.

Bane NOR (2021b) *Inspiserte jernbanebru med drone fra hjemmekontoret*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2021/inspiserte-jernbanebru-med-drone-fra-hjemmekontoret/> (Hentet: 15.04.2021).

Bane NOR (u.å.) *Intercity*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/intercity/> (Hentet: 13.03.2021).

Bawono, A. A., von Schumann, C. M. og Lechner, B. (2020) Study of Building Information Modelling Implementation on Railway Infrastructure, i *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. Springer, s. 372-382.

Becerik-Gerber, B. *et al.* (2012) Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management, *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3), s. 431-442.

Befring, E. (2007) *Forskningsmetode med etikk og statistikk*. Samlaget.

Berners-Lee, T., Hendler, J. og Lassila, O. (2001) The semantic web, *Scientific american*, 284(5), s. 34-43.

Borrmann, A. *et al.* (2018) *Building information modeling, Technology Foundations and Industry Practice*. Springer.

Brinkmann, S. og Tanggaard, L. (2010) *Kvalitative metoder: en grundbog*. Hans Reitzels Forlag.

Bryde, D., Broquetas, M. og Volm, J. M. (2013) The project benefits of Building Information Modelling (BIM), *International journal of project management*, 31(7), s. 971-980. doi: 10.1016/j.ijproman.2012.12.001.

buildingSMART (2019a) *IFC Rail project Abstract*. Tilgjengelig fra: https://buildingsmart-1xbd3ajdayi.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC_Rail_Abstract_.pdf (Hentet: 15.12.2020).

buildingSMART (2019b) *Om buildingSMART Norge*. Tilgjengelig fra: <https://buildingsmart.no/bs-norge> (Hentet: 19.01.2021).

buildingSMART (2020) *IFC Rail Project - Context & Approach*. Tilgjengelig fra: https://buildingsmart-1xbd3ajdayi.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2020/06/RWR-IFC_Rail-Context-Approach.pdf.

buildingSMART (2021) *BS-standard*. Tilgjengelig fra: <https://buildingsmart.no/bs-standarder> (Hentet: 19.04.2021).

buildingSMART (u.å.-a) *What is openBIM ?* Tilgjengelig fra: <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/> (Hentet: 16.12.2020).

buildingSMART (u.å.-b) *Industry Foundation Classes (IFC) - An Introduction*. Tilgjengelig fra: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/> (Hentet: 30.01.2021).

buildingSMART (u.å.-c) *mvdXML*. Tilgjengelig fra: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvdxml/> (Hentet: 27.04.2021).

buildingSMART (u.å.-d) *Railway Room IFC Rail Project Update Video*. Tilgjengelig fra: <https://www.buildingsmart.org/standards/rooms/railway/ifc-rail-project/> (Hentet: 01.12.2020).

Bygg.no (2020) *Randselva bru vant internasjonal BIM-kåring*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1445822> (Hentet: 21.11.2020).

Byggenæringens Landsforening (2017) *Digitalt veikart*. Tilgjengelig fra: <https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/digitalt-veikart-2017---full-rapport.pdf>.

Byggtjeneste (2011) *Om FDV-dokumentasjon*. Tilgjengelig fra: <https://byggtjeneste.no/wp-content/uploads/Om-FDV-dokumentasjon.pdf>.

Cavka, H. B., Staub-French, S. og Poirier, E. A. (2017) Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management, *Automation in construction*, 83, s. 169-183. doi: 10.1016/j.autcon.2017.08.006.

Charef, R., Alaka, H. og Emmitt, S. (2018) Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views, *Journal of Building Engineering*, 19, s. 242-257.

Costin, A. *et al.* (2018) Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure—Literature review, applications, challenges, and recommendations, *Automation in construction*, 94, s. 257-281.

Dalland, O. (2012) *Metode og oppgaveskriving for studenter 5.utgave*. Gyldendal akademisk.

Dalland, O. (2017) *Metode og oppgaveskriving for studenter (6.utgave)*. Gyldendal akademisk.

Ding, L., Zhou, Y. og Akinci, B. (2014) Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD, *Automation in construction*, 46, s. 82-93. doi: 10.1016/j.autcon.2014.04.009.

Eastman, C. M. *et al.* (2011) *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.

Fuglesang, A. (2017) *BIM i bruksfase—en kvalitativ kartleggingsstudie av status ved bruk av BIM i bruksfase*.

Gao, X. og Pishdad-Bozorgi, P. (2019) BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review, *Advanced Engineering Informatics*, 39, s. 227-247.

Garcia, G. *et al.* (2018) Model maturity risk index framework for tracking progress in model-based engineering, i *Construction Research Congress 2018*. s. 42-52.

Grønmo, S. (2020) *Forskningsmetode - samfunnsvitenskap i Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/forskningsmetode_-_samfunnsvitenskap (Hentet: 01.11.2020).

Hjelde, F. *et al.* (2020) *NTP 2022-2033: Samfunnsøkonomisk analyse av drift og vedlikehold*. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanedirektoratet.no/globalassets/strategier-og-utredninger/ntp/underlag-til-ntp-2022-2033/filer-desember-2020/soa-drift-vedlikehold-fornyelse-ntp-22-33.pdf>.

- Hjelseth, E. (2020) TVB4500 - Fordypningsprosjekt Valg av forskningsmetoder.
- IBM (2020) *IBM Maximo Application Suite*. Tilgjengelig fra: <https://www.ibm.com/downloads/cas/VONLA1MO> (Hentet: 02.04.2021).
- Jernbanekompetanse.no (2020) *Lærebøker i jernbaneteknikk*. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Tilstandskontroll>.
- Kleven, T. A., Hjordemaal, F. og Tveit, K. (2011) *Innføring i pedagogisk forskningsmetode: En hjelp til kritisk tolkning og vurdering*. Unipub.
- Liu, R. (2012) *BIM-based life cycle information management: Integrating knowledge of facility management into design*. University of Florida.
- Liu, R. og Issa, R. R. (2016) Survey: common knowledge in BIM for facility maintenance, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(3), s. 04015033.
- Love, P. E. *et al.* (2014) A benefits realization management building information modeling framework for asset owners, *Automation in construction*, 37, s. 1-10.
- Matarneh, S. T. *et al.* (2019) Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions, *Journal of Building Engineering*, 24, s. 100755.
- Motamedi, A., Hammad, A. og Asen, Y. (2014) Knowledge-assisted BIM-based visual analytics for failure root cause detection in facilities management, *Automation in construction*, 43, s. 73-83.
- Myrseth, P. (2013) *Semantisk web, emnekart og ontologier*
- NIBS (u.å.) *What is a BIM?* Tilgjengelig fra: <https://www.nationalbimstandard.org/faqs#faq1> (Hentet: 25.01.2021).
- Norge digitalt (2015) *Veileder for Geography Markup Language (GML)*.
- Norheim, A. *et al.* (2020) *MMI-Modell Modenhets Indeks for samferdsel*. Tilgjengelig fra: <https://www.eba.no/siteassets/bilder/rapporter-og-publikasjoner/mmi-for-samferdsel.pdf>.
- OGC (u.å.-a) *Geography Markup Language*. Tilgjengelig fra: <https://www.ogc.org/standards/gml> (Hentet: 31.12.2020).
- OGC (u.å.-b) *OGC LandInfra / InfraGML*. Tilgjengelig fra: <https://www.ogc.org/standards/infragml> (Hentet: 31.12.2020).
- Owen, R. B. *et al.* (2013) *Research roadmap report-Integrated Design and Delivery Solutions (IDDS)[CIB Publication: 370]: International Council for Research and Innovation in Building and Construction*.
- Pedersen, G. A. og Reidunsdatter, R. J. (2018) *Litteraturstudie som metode* [Forelesning] NTNU.

Rae, D., Gledson, B. og Littlemore, M. (2019) BIM and its impact upon project success outcomes from a Facilities Management perspective.

RIF (2018) *Skybasert lagring av bygningsinformasjons-modeller* RÅDGIVENDE INGENIØRERS FORENING.

Riksrevisjonen (2020) *Riksrevisjonens undersøkelse av Bane NORs drift, vedlikehold og investeringer*. Tilgjengelig fra: <https://www.riksrevisjonen.no/globalassets/rapporter/no-2020-2021/undersokelse-av-bane-nors-drift-vedlikehold-og-investeringer.pdf>.

Sacks, R. et al. (2018) *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. John Wiley & Sons.

Samferdselsdepartementet (2020) *Mer vedlikehold for pengene på jernbanen*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/mer-vedlikehold-for-pengene-pa-jernbanen/id2815540/> (Hentet: 17.01.2021).

Standard Norge (2018) Dokumentasjon for forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling for bygninger (FDVU-dokumentasjon) c.

Standard Norge (2020) *Nye standarder i ISO 19650-serien om informasjonsforvaltning med BIM*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/bygg-anlegg-og-eiendom/2020/nye-standarder-og-en-veiledning-til-ns-en-iso-19650-serien-om-informasjonsforvaltning-med-bim/> (Hentet: 10.01.2021).

Standard Norges komité SN/K 379 (2020) *BIM: Behov for kontraktsreguleringer og generell standardisering*. Standard Norge.

Statens Vegvesen (2015) *Håndbok V770 Modellgrunnlag Krav til grunnlagsdata og modell*.

Statsbygg (2017) PA 0802
TVERRFAGLIG MERKESYSTEM.

Statsbygg (2019) Digitale tvillinger og åpne standarder. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/Global/PDF/Standard%20Morgen/Digitalisering-og-transformasjon/6%20Statsbygg%20Digitale%20tvillinger%20og%20C3%A5pne%20standarder%20050619.pdf>.

Statsbygg (2021) *SIMBA - Statsbyggs BIM-krav*. Tilgjengelig fra: <https://sites.google.com/view/simba-bim-krav/definisjoner-og-forkortelser> (Hentet: 28.04.2021).

Tekna (2020) Nettforedrag med Tekna Jernbane, Foredrag av Øystein Lystad og Øystein Mejlænder-Larsen fra Bane NOR. Tekna.

Thagaard, T. (2018) *Systematikk og innlevelse: en innføring i kvalitativ metode 5.utgave*. Fagbokforlaget Bergen.

Trimble (u.å.) *Quadri - Your Common data Environment platform*. Tilgjengelig fra: <https://heavyindustry.trimble.com/en/products/quadri> (Hentet: 18.04.2021).

Tunli, S. I. (2019) *Overføre digital egenskapsinformasjon fra et BIM jernbaneprojekt*, NTNU.

Umar, U. A. *et al.* (2015) 4D BIM application in AEC industry: impact on integrated project delivery, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 10(5), s. 547-552.

VIKO (u.å.). Tilgjengelig fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder> (Hentet: 07.02.2021).

Vycital, M. og Jarský, C. (2020) An automated nD model creation on BIM models, *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal*, 12(1), s. 2218-2231.

Vedlegg

Vedlegg 1: Intervjuguide

Vedlegg 2: Mal for koding og transkribering

Vedlegg 3: utfordringer diskutert i eksisterende forskning

Vedlegg 1: Intervjuguide

Agenda for intervju:

<ul style="list-style-type: none">• Introduksjon og status på masteroppgave• Hvordan intervjuet gjennomføres	10 min
Intervjuet	1 time og 10 min
Avslutning	10 min

Intervjuspørsmål

1. Hva er din rolle og arbeidserfaring?
2. Kjenner du til noen pågående prosesser innenfor og utenfor organisasjon med tanke på bruk av BIM til FDV?
3. I hvor stor grad krever Bane NOR leveranser av BIM-modeller som en del av FDV dokumentasjon? / Krever Bane NOR leveranser av BIM som en del av sluttdokumentasjon i prosjektene sine?

I svært stor grad I stor grad Middels I liten grad I svært liten grad Ikke

Annet:

4. I hvilke planfaser involveres driftsorganisasjon i et prosjekt? / Når involveres driftsorganisasjon i et prosjekt?

KVV Hovedplan Detaljplan Byggeplan Produksjon og overlevering

Annet:

5. Hvilke krav er det stilt til BIM for FDV?
6. Hvilke krav bør stilles til BIM for FDV?
7. Hvilke BIM-verktøy (eller programvarer) benytter organisasjonen?
8. I hvor stor grad benytter driftsorganisasjon BIM-verktøy?

I svært stor grad I stor grad Middels I liten grad I svært liten grad Ikke

9. Hvordan skaffer man BIM-modeller i etterkant i tilfellet det ikke har blitt levert noe tidligere?

10. Hva er din erfaring om objektbibliotek til Bane NOR?
11. Det er stilt krav i Bane NORs håndbøker om innlegging av metadata i modellen, i hvor stor grad det er praktisert?

I svært stor grad I stor grad Middels I liten grad I svært liten grad Ikke

Annet:

12. Hvorfor skal jernbaneobjekter merkes både med BaneData ID og TFM?
13. Kunne du nevne noen utfordringer i driftsfasen knyttet til FDV dokumentasjon?
14. Hva er din erfaring om BIM i driftsfasen og hva brukes den til?
15. Hvilke egenskaper og informasjon i BIM kan allerede nå brukes til FDV?
16. Hva skal BIM brukes til i driftsfasen i fremtiden?
17. Hvordan skal BIM vedlikeholdes i driftsfasen?
18. Hvilke FDV-verktøy benytter organisasjonen?
19. Hvordan opplever du interoperabilitet mellom BIM og FDV-verktøy?
20. Hva kan bidra til bedre interoperabilitet mellom BIM og FDV-verktøy?
21. Hvilke muligheter bidrar til bedre implementering av BIM i driftsfasen?
22. Hvilke utfordringer finnes det for implementering av BIM i driftsfasen?
23. Er det noe tema som er knyttet til FDV og BIM du vil legge til?
24. Kan jeg ta kontakt med deg senere for kvalitetssjekk av notater angående dine svar?

Vedlegg 2: Mal for koding og transkribering

Dato	
Intervjuobjekt	
Rolle	
Arbeidserfaring	
Erfaringer og status	
Pågående prosess	
BIM-verktøy	
FDV-verktøy	
Metadata	
Merking	
Filformat	
Utfordringer	
Muligheter	
Bruksområder	
Annen informasjon	
...	

Vedlegg 3: Utfordringer diskutert i eksisterende forskning

Utfordringer	Eksisterende forskning
<ul style="list-style-type: none">• Dårlig interoperabilitet mellom programvarer• Manglende entydig informasjonskrav fra byggherrer• Vanskelig for byggherrer å kartlegge krav• Vanskelig å identifisere hvilken informasjon som skal brukes til hvilken tid i prosjekts livsløp• Manglende programvarer og maskinvarer til å håndtere stor mengde av data• Manglende forståelse og kunnskap om BIM i driftsorganisasjon• Dårlig samarbeid mellom aktørene• Uklart eierskap til informasjon• Manglende motivasjon til endring• Kostbart å ta i bruk BIM i driftsfasen (lisens, kursing og opplæringskostnader)• Manglende ressurser til å implementere BIM• Manglende ressurser til å drifte og vedlikeholde modeller• Bekymring for nedbemanning pga. bruk av BIM• Driftsorganisasjon er ikke blitt behandlet som en fremtredende interessent av prosjektet	<p>(Becerik-Gerber <i>et al.</i>, 2012)</p> <p>(Liu og Issa, 2016)</p> <p>(Costin <i>et al.</i>, 2018)</p> <p>(Rae, Gledson og Littlemore, 2019)</p> <p>(Matarneh <i>et al.</i>, 2019)</p>

