




Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjoner og materialer - bygg	Vårsemesteret, 2019 Åpen
Forfatter: Henrik Halsnøy	 (Henrik Halsnøy)
Fagansvarlig: Samindi Samarakoon Veileder(e): Samindi Samarakoon & Maria Lampe	
Tittel på masteroppgaven: Effektivisering av byggeprosesser ved bruk av digital armering i tegningsfrie prosjekter Engelsk tittel: Optimization of construction processes using digital reinforcement in drawing-free projects	
Studiepoeng: 30	
Emneord: BIM Digital armering Tegningsfri prosjektering og utføring	Sidetall: 71 + vedlegg/annet: 2 Stavanger, 15/06-2019

Sammendrag

I dagens byggenæring er bruk av 2D-tegninger på byggeplass dypt forankret. I tillegg til å produsere 3D-modell av prosjekter, krever entreprenører å få levert snitt-, detalj- og plantegninger i papirformat. Selv om det finnes teknologi som kan håndtere 3D-modeller på byggeplassen, er det fortsatt mange som tviholder på bruk av tegninger som en ekstra sikkerhet. For å spare tid på produksjon av 2D-tegninger er det blitt populært å digitalisere prosjekter. Denne digitaliseringen kommer i form av tegningsfrie prosjekter, altså prosjekter som baseres på bruk av 3D-modellen og ikke tegninger.

Det er flere parametere og krav som bør oppfylles for å gjøre prosjekter tegningsfrie. I denne oppgaven er det valgt å fokusere på bruk av digital armering i prosjekter. Digital armering er en av de næringene innen konstruksjonsfasen som har størst potensiale. I løpet av de siste årene er det utviklet et filformat som kan hentes inn i produksjonssystemene til de fleste digitale armeringsfabrikker. Dette gjør at mye av armeringen som produseres kan gjøres direkte fra modell, uten flere manuelle tastetrykk. Mulighetene til digitalisering av prosjekter finnes, men er byggenæringen klar for denne moderniseringen?

Det er valgt å foreta casestudier av to prosjekter som forsøker å holde et høyt digitalt nivå. Prosjektene er *SUS2023* og *Ledaal Park Niels Juel*, hvor begge er byggeprosjekter i Stavanger området. Videre baseres funnene i oppgaven på teori fra internett og samtaler med relevante fagpersoner. Oppgaven vurderer parametere som bidrar til effektiviseringen av digital armering i modellen. De foreslåtte parameterne er startnummer og prefiks, fargekoder, leggeplaner, revisjonshåndtering og prosesstatus. Det er foreslått en metode for bruk av prosesstatus underveis i konstruksjonsprosessen. Det er hovedsakelig lagt vekt på bruk av *Revit*, *Naviate*, *Solibri* og *StreamBIM* som gjeldende programvarer. BIM-verktøyene blir i størst grad anvendt i prosjekteringsfasen, men har stort potensiale til bruk på byggeplass. Derfor er det fokusert på håndtering av BIM-kiosker og håndholdte enheter på byggeplass. Oppgaven foreslår også en sjekkliste til fremtidige tegningsfrie prosjekter hos *Sweco*. Denne sjekklisten er satt sammen av parametere som kan tenkes er nødvendige for å oppnå suksess med tegningsfrie prosjekter.

Ut i fra resultatene fra casestudiene kommer det frem at de fleste ønsker å gjøre prosjekter tegningsfrie, men at det fortsatt må brukes tegninger på enkelte detaljer. Særlig relevant til binding og legging av armering. Erfaring fra referanseprosjektene viser også at det er fordel å ha møter tidlig i prosjekteringsfasen hvor RIB, entreprenør og armeringsprodusent er involvert. Dette for å sikre at alle parter får delta og uttrykke sin mening om videre fremdrift og detaljer i prosjektet. God samhandling mellom de prosjekterende og utførende er viktig for å sikre effektivitet i fremdriften.

Det konkluderes med at det er stor mulighet for å oppnå suksess med tegningsfrie prosjekter, dersom alle involverte har god innstilling og ønsker å lykkes med digitalisering. En investering i

BIM-verktøy og tilstrekkelig opplæring på byggeplass er nødvendig for at entreprenørene skal følge med i overgangen til tegningsfrie prosjekter. Dagens prosesser må tilpasses bruk av 3D-modell for å lykkes. Utvikling av programvarer er med på å gjøre BIM-verktøy enda mer tilrettelagt til bruk på byggeplassen. Det er derfor fullt mulig å oppnå gevinst ved bruk av tegningsfrie prosjekter i det lange løp.

Abstract

The use of 2D drawings on construction sites are deeply anchored in today's construction industry. In addition to producing 3D model of projects, contractors require to have cut, detail and floor plans in paper format. Even though there are technologies that can handle 3D models on the construction site, there are still many people who use drawings as an additional security. In order to save time on the production of 2D drawings, it has become popular to digitize projects. This digitization comes in the form of drawing-free projects, which means projects that are only based on the use of 3D models.

There are several parameters and requirements that should be met to make projects drawing-free. Therefore this thesis will focus on the use of digital reinforcement in projects. Digital reinforcement is one of the industries within the construction phase that has the greatest potential. During the past few years, a file format has been developed that can be integrated into the production systems of most digital reinforcement factories. This method allows the production to be done directly from model, without multiple manual keystrokes. The possibilities for digitization of projects exist, but is the construction industry ready for this digitalization?

It has been chosen to do case studies for two projects that try to maintain a high digital level. The projects are *SUS2023* and *Ledaal Park Niels Juel*, where both are construction projects in the Stavanger area. Furthermore, the findings are based on the theory from the Internet and interviewing of relevant professionals. The task considers parameters that contribute to the efficiency of digital reinforcement in the model. The proposed parameters are start number and prefix, color codes, sequence plan, revision management and process status. It has been suggested a method for using process status along the way in the design process. The emphasis is mainly on the use of Revit, Naviate, Solibri and StreamBIM as main software. BIM tools are used largely in the engineering phase, but have great potential for use on construction site. Therefore, it is focused on the handling of BIM kiosk and handheld devices on the construction site. The task also proposes a checklist for future drawing-free projects at Sweco. This checklist is made up of parameters that the author believe is necessary to achieve success with drawing-free projects.

Based on the results from the case studies, most people want to make projects drawing-free, but think that drawings must still be used on some details. Particularly relevant for bonding and laying of reinforcement. Experience from the reference projects shows that it is advantageous to have meetings early in the design phase where all parts are involved. This is to ensure that all parties can participate and express their opinion on further progress and details in the project. Good interaction between the designers and executives is important to ensure that the progress is efficient.

The assignment concludes that it is possible to achieve success in drawing-free projects if all parties involved wish to succeed with digitalization. An investment in BIM tools and adequate

training on construction sites is necessary for the contractors to follow the transition to drawing-free projects. Today's processes must be adapted to the use of the 3D model to succeed. Software development helps to make BIM tools even more suited for use on the construction site. It is therefore fully possible to earn profit when using drawing-free projects in the long run.

Forord

Denne masteroppgaven er utført av Henrik Halsnøy ved Universitetet i Stavanger, våren 2019. Oppgaven er avsluttende del av mastergraden innen konstruksjoner og materialer med fordypning innen byggkonstruksjoner.

Oppgaven ble utviklet i samarbeid med gruppeleder for byggeteknikk Otto Klippen og Maria Lampe fra Sweco. Videre ble den spesifisert i samarbeid med veileder fra *Universitetet i Stavanger*, Samindi Samarakoon. I tillegg fikk jeg god hjelp til deltakelse i møter og prosjekter av Einar Mortensen hos *Kamstål AS*. Jeg fikk også gode svar på spørsmål knyttet til *Ledaal Park* prosjektet av Vegard Johnsen hos Sweco.

Jeg vil derfor rette en stor takk til alle veiledere og bedrifter som har hjulpet meg med å gjøre den oppgaven mulig.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Abstract.....	iii
Forord	v
Innholdsfortegnelse.....	vi
Ordforklaring.....	ix
Figurliste	x
Tabelliste.....	x
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Samarbeidsbedrift	2
1.2.1 Sweco	2
1.2.2 Kamstål AS	3
1.3 Mål med oppgaven.....	3
1.4 Problemstilling.....	3
1.5 Avgrensing av oppgaven	4
2. Teori.....	5
2.1 BIM	5
2.2 Armeringsprosesser	6
2.2.1 Den konvensjonelle armeringsprosessen.....	7
2.2.2 Den digitale armeringsprosessen.....	8
2.3 Prefabrikkerte elementer vs. stedstøpte elementer	10
2.3.1 Stedstøpt elementer	10
2.3.2 Prefabrikkerte elementer.....	10
2.4 Tegningsfrie prosjekter.....	11
2.5 Samspill mellom de involverte.....	12
2.6 Programvare	13
2.6.1 Konstruksjonsverktøy.....	13
2.6.2 Samhandlingsplattform	13
2.6.2.1 Pims365	14

2.6.2.2 Solibri Model Checker	15
2.6.2.3 StreamBIM	15
2.6.3 Mobile verktøy	15
2.7 Formater	17
2.7.1 IFC.....	17
2.7.2 BVBS	17
2.8 Bøyelister	20
2.8.1 Oppsett av bøyelister	20
2.8.2 Digitale armeringssystemer hos norske stålprodusenter.....	22
2.8.2.1 Kamstål AS.....	22
2.8.2.2 Smith Stål	22
2.8.2.3 Norsk Stål	23
2.9 Kvalitetssikring og kontroll av prosjekt	23
2.9.1 Kontrollvarianter	23
2.9.1.1 Egenkontroll	23
2.9.1.2 Sidemannskontroll.....	24
2.9.1.3 Godkjenning	24
2.9.2 Kontroll av tegningsfrie prosjekter	24
2.10 MMI - Modell Modenhets Indeks	24
2.10.1 Grad av MMI.....	25
2.10.2 MMI i prosjektplanleggingen.....	26
3. Metode.....	28
3.1 Anvendt Metode.....	28
3.1.1 Teori	28
3.1.2 BIM-prosjekteringen	28
3.1.3 Case-studie.....	28
3.1.3.1 SUS2023.....	29
3.1.3.2 Ledaal Park Niels Juel.....	30
3.1.4 Reliabilitet.....	31
3.1.5 Validitet.....	31

3.1.6 Feilkilder	32
4. Resultater	33
4.1 Krav til informasjon i BIM-modellen.....	33
4.1.1 Startnummer og prefiks	33
4.1.2 Fargekoder	34
4.1.3 Leggeplan	35
4.1.4 Revisjonshåndtering.....	35
4.1.5 Prosesstatus.....	36
4.1.5.1 Egendefinert statusparameter	38
4.2 Referanseprosjekter	40
4.2.1 SUS2023	41
4.2.1.1 Erfaring fra byggemøter og prosjektering.....	41
4.2.1.2 Delkonklusjon SUS2023	42
4.2.2 Ledaal Park Niels Juel	42
4.2.2.1 Erfaring fra byggemøter og prosjektering.....	43
4.2.2.2 Delkonklusjon Ledaal Park Niels Juel	45
4.3 Egendefinert sjekklister for tegningsfri prosjektering.....	46
5. Diskusjon	48
5.1 Hvem og hva må endres i nåværende prosesser?.....	48
5.1.1 Samspill mellom aktørene	48
5.1.2 Overgang til digital armeringsprosess	49
5.1.3 Programvare og verktøy.....	51
5.1.4 Tilpassing av kontroll og kvalitetssjekk	52
5.2 Hvem vil få utbytte ved en overgang til tegningsfri prosjektering og utføring?....	52
5.3 Hvordan oppnå suksess med tegningsfri prosjekt ved bruk av digital armering? .	53
6. Konklusjon.....	55
7. Veien videre.....	56
8. Referanser	57
9. Vedlegg.....	60

Ordforklaring

BIM = Building Information Model, på norsk: BygningsInformasjonsModell eller BygningsInformasjonsModellering

RIB = Rådgivende Ingeniør Byggeteknikk, ansvar for byggeteknisk modellering

RIV = Rådgivende Ingeniør Ventilasjon, ansvar for VVS modellering

RIE = Rådgivende Ingeniør Elektrisitet, ansvar for elektrisk modellering

ARK = Arkitekt, ansvar for arkitekt modellering

LARK = Landskap Arkitekt, ansvar for landskaps modellering

VVS = Varme-, Ventilasjon- og Sanitærteknikk

IFC = Industry Foundation Classes

Regelsjekk = Sjekker valgte regelsett på modeller i *Solibri Model Checker*. Et regelsett er spesifikke regler for hva som er tillatt i modellen.

Sak = Samlebetegnelse på et problem som oppstår mellom eller i en modell. Eksempel på en sak kan være: kollisjoner mellom modeller, feil i forhold til standarder og andre krav som snuareal for rullestolbrukere.

4D = tid legges til 3D-modellen. Det vil si at 3D-modellen fremvises med utvikling etter tid, gjerne med en animasjonsvideo eller lignende.

Bygg-Entreprise = Avtale om utførende arbeid av bygge- og anleggsarbeid på fastsatt tomt

Figurliste

Figur 1 – Sweco logo (2020park, u.å.).....	2
Figur 2 - Kamstål AS logo (Kamstål AS, u.å.)	3
Figur 3 - BIM konsepter (Sarah Construction, 2018)	5
Figur 4 - Bruk av BIM i digital armeringsprosess.....	9
Figur 5 – Prefabrikkert armeringselement (Kamstål, u.å.)	11
Figur 6 - Samspill A (ISARC, 2017)	
Figur 7 – Samspill B (ISARC, 2017)	12
Figur 8 - Brukergrensesnitt i Pims365 (Omega, u.å.).....	14
Figur 9 - BIM kiosk (RUFO, u.å.)	
Figur 10 - BIM kiosk (RUFO, u.å.)	16
Figur 11 - Eksempel av oppbygging av BVBS streng (ISARC, 2016)	18
Figur 12 - Eksempel på armeringsjern med mål	19
Figur 13 - Oppbygging av MMI-klasser (RIF, u.å.).....	25
Figur 14 - Eksempel på prosjektfremdrift med MMI (RIF, u.å.).....	27
Figur 15 - MMI 350 i forskjellige fagmodeller (RIF, u.å.)	27
Figur 16 - Bilde av tomten til SUS2023 per våren 2019 (Helse Stavanger, u.å.).....	29
Figur 17 - Prospekt til SUS2023 ved ferdigstilling (Helse Stavanger, u.å.).....	30
Figur 18 - Prospekt til ferdigstilling av Ledaal Park (Ledaal Park, u.å.)	31
Figur 19 - Startnummer og prefiks i Revit med Naviate	34
Figur 20 - Armerings-merkelapp produsert av Kamstål AS	35
Figur 21 - Prosesstatus i henhold til buildingSMART (buildingSMART, 2017)	37
Figur 22 - MMI-klassifisering fra Naviate	38
Figur 23 - Egendefinert statusparameter laget i Solibri.....	39
Figur 24 - Endring av status klassifisering i Solibri	39
Figur 25 - Visualisering av prosjekt etter status på armering fra Solibri	40
Figur 26 - Tegning av heisgrubben Ledaal Park Niels Juel	44
Figur 27 - Bøyeliste til heisgruben i Ledaal Park Niels Juel	45
Figur 28 - Samspill A.....	48

Tabelliste

Tabell 1 - Sortering av BVBS-strengen	19
Tabell 2 - Eksempel på bøyeliste etter tabell 6 i NS-EN ISO:3766	20
Tabell 3 - Eksempel på bøyeliste etter tabell 7 i NS-EN ISO:3766	21
Tabell 4 - Egendefinert sjekkliste	47

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Byggebransjen er i konstant utvikling, og særlig etter sitt inntog av BIM for noen år tilbake. I byggebransjen oppleves det at utvikling som skjer i førkonstruksjonsfasen, for eksempel modellering- og designfasen, ikke er samsvarende hos entreprenøren i utførelsesfasen. I samarbeid med *Sweco* og *Kamstål AS* har det blitt bestemt å kartlegge utfordringer med den fallende effektiviteten på byggeplassen. Det er derfor valgt å fokusere på bruk av tegningsfrie byggeplasser og digital armering. De siste årene har det blitt gjort flere tegningsfrie prosjekter, og dette blir vurdert som en av løsningene som kan bidra til å øke både effektiviteten og kvaliteten på byggeplassen. Oppgaven vil fokusere på hva digitaliseringen kan bidra med for armeringsproduksjonen, da dette er en næring som har gjennomgått en stor revolusjon i løpet av kort tid. Armering har i løpet av få år blitt utviklet til å kunne produseres i automatiske systemer, direkte fra 3D-modeller.

Den nåværende arbeidsflyten er svært fokusert på papirbaserte dokumenter, generert gjennom digitale verktøy. Tegninger som er utarbeidet ved hjelp av 3D BIM-verktøy blir sendt til entreprenøren, som deretter videresender tegningene til armeringsprodusenten i forbindelse med innkjøpsordren via e-post, regneark eller skjemaer. Det er opp til armeringsprodusenten å konvertere design- og bestillingsinformasjonen til produksjonsdata, en svært manuell og feilaktig oppgave. Selv om den teknologiske infrastrukturen allerede har automatiske systemer for denne type arbeid, ønsker entreprenørene fortsatt å bruke den manuelle dataoverføringen før produksjon. I motsetning til dagens tilnærming fremmer bruken av BIM en integrert og samarbeidende arbeidsflyt. Denne arbeidsflyten favoriserer datautnyttelsen og beslutningsprosessen med konsistent og integrert informasjon gjennom hele armeringsforsyningskjeden. BIM-modellen representerer en felles database som utvikler seg gradvis igjennom prosjektets livssyklus, og blir oppdatert av de involverte partene. I designfasen brukes BIM hovedsakelig til modellering av generelle strukturelementer som vegger, fundamenter og lignende. Når det kommer til detaljer i bygg og i armering, blir det ofte brukt 2D-verktøy, da dette er mindre tidskrevende. Dette fører til at andre støttede BIM-bruksområder som 3D-koordinering eller 4D-planlegging blir begrenset. Konsolideringen av BIM i armeringsdetaljeringsprosessen fremmer nye muligheter for de involverte videre i hendelsesforløpene. Ved å involvere BIM i armeringen kan det fremme gjenbruk av modeller, maler og utnytte informasjon som allerede finnes i modellen.

Denne problemstillingen vil bli tatt opp med hensyn på hvilken effekt en tegningsfri byggeplass vil ha for både prosjekterende og utførende. Prosjekter kun basert på modell, vil kreve strengere krav til bruk av BIM-verktøy og riktig kunnskap på byggeplass. Tilrettelegging for tegningsfrie prosjekter vil kreve flere endringer på dagens prosesser. Ut i fra dette skal det fokuseres på

hvordan dagens prosesser fungerer og hva som kan endres. En "tegningsfri"- eller "papirløs" byggeplass er ord som blir brukt om fremtidens byggeplasser, men hva betyr det?

Det er viktig å skille mellom "tegningsfrie" og "papirløs", selv om de ofte brukes om hverandre. En "papirløs" byggeplass beskrives som en byggeplass hvor det ikke brukes fysiske papirer, men modeller, detaljtegninger og snitt-tegninger fra BIM-kiosk, smarttelefon eller smartbrett. En byggeplass som er "papirløs" er mer moderne, da dette fjerner utskrift av utallige tegninger. På den andre siden har en "tegningsfri" byggeplass enda større potensiale. "Tegningsfrie" prosjekter åpner opp for muligheten til å bli kvitt fysiske papirer, samtidig som prosjektet kan bygges kun på grunnlaget av 3D-modell. Det er dermed ønsket at entreprenør på byggeplass kun skal bruke BIM verktøy for å hente de samme snittene, detaljtegningene og plantegningene som en rådgivende ingeniør i dag må lage manuelt.

En rådgivende ingeniør bruker omtrent like mye tid på å produsere detaljtegninger, snitt og plantegninger som på å lage 3D-modell. Dette avhenger naturligvis av størrelse på prosjektet. Med tegningsfrie prosjekter kan det tenkes at rådgivende ingeniør vil spare inn mye tid på å kun produsere en mer komplett modell. Dette skiftet vil kreve enda mer arbeid for entreprenører på byggeplassen. Fordi det ikke vil eksistere 2D-tegninger med detaljer til bruk på byggeplass, men kun 3D-modell. I oppgaven vil det bli undersøkt hvordan dette vil fungere i praksis.

1.2 Samarbeidsbedrift

1.2.1 Sweco



Figur 1 – Sweco logo (2020park, u.å.)

Sweco er Europas ledende rådgivende ingeniørfirma som har prosjekter i 70 land over hele verden. Sweco ble grunnlagt sent på 1800-tallet og har siden den gang bare vokst seg større. Sweco Norge AS har kontorer i alle de store norske byene, og består av nærmere 1600 medarbeidere. Sweco er et tverrfaglig ingeniørfirma, det vil si at de har ingeniører innen de fleste arbeidsområder. Som for eksempel byggingeniører, vei-ingeniører, branningeniører, og ingeniør innen areal og landskap. Arbeidsområdene til Sweco kan være byggeprosjekter i alle størrelser, komplekse sykehus og nye t-banelinjer (Sweco, u.å.).

1.2.2 Kamstål AS



Figur 2 - Kamstål AS logo (Kamstål AS, u.å.)

Kamstål AS ble startet opp 1. juni 2016 i Stavanger, og er allerede blitt en etablert leverandør av armeringsprodukter i Rogaland. *Kamstål AS* leverer armering til entreprenører og elementfabrikker. De produserer kapp, bøyer og prefabrikkerte produkter med et helt nytt og moderne system. Systemet er datastyrt og integrert i forretningsystem for produksjonsstyring, orde, faktura og lager. Kamstål tilbyr hjelp til å redusere ledetiden på byggeplassen ved å tilby prefabrikkerte armeringsprodukter, og i tillegg til å være markedsledende med sine 3D og digitale løsninger (Kamstål, u.å.).

1.3 Mål med oppgaven

Målet med oppgaven er å produsere en sjekklister for RIB hos *Sweco*. Sjekklister skal inneholde punkter som kreves for å oppnå tegningsfri prosjektering og utføring. Målsetningen vil også inkludere hvordan *Kamstål AS* er med på å gjøre en tegningsfri byggeplass mer effektiv med sine digitale armeringssystemer. Det vil forhåpentlig gi en indikator på hvordan både *Sweco* og *Kamstål* skal håndtere fremtidige prosjekter. Derfor vil det bli foreslått flere parametere som er nødvendige å berike 3D-modellen med for at den skal kunne brukes i digitale prosjekter.

Den personlige målsetningen er å lære hvordan samspillet mellom de involverte aktørene fungerer per i dag. I tillegg til å ta med erfaring om digital armering og tegningsfri prosjekter er den retningen byggenæringen skal gå mot i fremtiden.

1.4 Problemstilling

Overordnet problemstilling:

- **Hvordan oppnå suksess med tegningsfrie prosjekter ved bruk av digital armering?**

For å innfri hovedproblemstillingen er det valgt å besvare to underproblemstillinger. De valgte underproblemstillingene er følgende.

- **Hvem og hva må endres i nåværende prosesser?**
- **Hvem vil få utbytte av en overgang til tegningsfri prosjektering og utføring?**

1.5 Avgrensning av oppgaven

Utviklingen av BIM og BIM-verktøy de seneste årene er med på å gjøre denne oppgaven mulig. Til tross for at BIM er et stort fokus i oppgaven er det valgt å ikke gå for dypt inn på historien til BIM, da dette begynner å bli et velkjent uttrykk i byggebransjen. Det samme gjelder for armering. Det finnes mye forskning og beregninger bak bruk av armering, men det vil ikke bli tatt opp i oppgaven. Hovedfokuset i oppgaven er å finne ut hvordan digital armering er med på å skape en tegningsfri hverdag og sammenligne effekten dette vil ha i forhold til tradisjonelle 2D-tegninger.

2. Teori

2.1 BIM

Et byggeprosjekt er delt opp i flere faser og involverer flere fagområder. For å kunne håndtere all informasjon og prosesser underveis i prosjektet er det viktig å ha en felles forståelse av samhandlingen. Det er her BIM kommer inn i bildet. BIM har siden sin ankomst vært som et frisk pust i den svake produktiviteten i bygge- og anleggsvirksomheten de siste årene. Selv om BIM har blitt et relativt velkjent uttrykk, er det viktig å ta opp utviklingene som har skjedd innen BIM den seneste tiden. Grunnen til dette er at BIM også er i utvikling. Det brukes hyppigere og resulterer i nye bruksområder og ønsker for utvikling. BIM står for bygningsinformasjonsmodell når det gjelder produktet, altså 3D-modellen. Når det gjelder selve prosessen står BIM for bygningsinformasjonsmodellering. BIM er involvert i hele byggeprosessen, fra prosjekteringen helt til renovasjon (Symetri, 2017)



Figur 3 - BIM konsepter (Sarah Construction, 2018)

For å kunne vurdere fordelene med BIM må punktene fra figuren over beskrives. Anthony Munro beskriver gevinstene ved bruk av BIM med følgende punkter (Munro, 2018).

1. Analyser

BIM kan brukes til å ta analyser av modellen som produseres. Er informasjonen korrekt lagt inn er det mulig å bruke denne informasjonen til å beregne utgifter, mengder og kjøre analyser av kollisjonsjekk mellom bygningsdeler. Det finnes utallige måter å ta analyser,

men det skjer oftest ved hjelp av programvaren *Solibri*. Det er mulig å lese mer om funksjonene til *Solibri* i punkt 2.6.2.2.

2. Dokumentasjon og fabrikasjon

Ved bruk av BIM er det enklere å ta seg rundt i et byggeprosjekt ved hjelp av 3D-modell. Det gjør at de som bruker modellen kan lese av detaljer, avstander og informasjon enklere enn i en tegning. Ofte brukes tegninger sammen med modeller for å få med alle detaljer. Vanligvis flyter det av tegninger med forskjellige revisjoner på byggeplass, dette gjør at det kan være vanskelig å holde kontroll på hva som skal bygges. Ved bruk av BIM-modeller er det mulig å unngå dette problemet, fordi all informasjon er samlet i en fil. BIM-modeller kan lagres digitalt, og gjenbruk av modeller gjør at en kan spare tid i senere prosjekter.

3. Konstruksjonslogistikk, fremgang og økonomi

BIM er også involvert i logistikken. For å sette sammen en komplett BIM-modellen har hvert fag faste tider de skal berike modellen med detaljer. En elektromodell, VVS-modell, konstruksjonsmodell, arkitektmodell og en landskapsmodell. Disse modellene kan brukes til å sette opp animasjoner for fremgang og utgifter underveis. Dette gjør at de involverte vil få bedre forståelse og forventning til når modellen skal ferdigstilles.

4. Renovasjon og vedlikehold

Nye utviklede BIM-modeller kan berikes med vedlikeholdsinformasjon. Dette gjør at byggherre kan selv holde kontroll på hvilke materialer som er brukt, hvor de er bestilt og når de må skiftes eller vedlikeholdes. BIM gjør det derfor mulig å holde kontroll på hva som bør vedlikeholdes i løpet av årenes gang.

5. Kvalitetssikring

Ved bruk av BIM er det enklere å holde kontroll på endringer, da hele modellen oppdateres hvis elementer blir flyttet i bygget. Endring i 2D-tegninger kan føre til misforståelser på byggeplassen, på grunn av at endringen ikke alltid blir oppdatert i de neste tegningene. Ved 2D-tegningsgrunnlag må det ansvarlige faget oppdatere alle tegninger knyttet til endringstiltaket manuelt. BIM-programvarer har i tillegg funksjoner for håndtering av revisjoner. Det er mulig å sammenligne revisjoner, i tillegg til at BIM-verktøyet oftest henter frem den nyeste revisjonen.

2.2 Armeringsprosesser

Armering blir støpt inn i betongen for å gjøre at konstruksjoner og betongelementer tåler større påkjenninger. Bruk av armering har hatt lite endring og utvikling de siste årene, men etter BIM ble utviklet har det oppstått nye muligheter for produksjon og håndtering av armeringsjern. Det er opp til hvert enkelt firma og utvikle egne systemer for produksjon og distribusjon av armering. Dette gjør at det finnes utallige metoder å håndtere armering på. I de neste delkapitlene vil det

beskrives hvordan *Norsk Betongforening* mener at dagens konvensjonelle armeringsprosessen fungerer i forhold til den digitale armeringsprosessen.

2.2.1 Den konvensjonelle armeringsprosessen

En konvensjonell armeringsprosess består som oftest av to parter; den prosjekterende, og den utførende. Den prosjekterende delen består av en rådgivende ingeniør bygg, fra nå av kalt for RIB. RIB vil utarbeide ett sett formtegninger med detaljer i tillegg til ett sett med armeringstegninger med tilhørende bøyelister. Entreprenøren står for den utførende delen og vil fordele betongarbeidet inn i en bestemt rekkefølge ut i fra tegningene til RIB. Støping av betongen foregår oftest etappevis og det er da entreprenøren sitt ansvar og holde orden på bestillinger. Entreprenøren må kontinuerlig holde dialog med armeringsleverandør angående status på leveranser og produksjon. Når armeringsleverandør har produsert angitt armering, fraktes dette til byggeplass og entreprenøren tar over ansvaret med å få legge armeringen etter tegninger fra RIB. Entreprenør og RIB bestemmer seg for hvilke metoder selve planleggingen skal foregå. I planleggingen må entreprenør og RIB ta valget om hvilke detaljnivå tegningene skal foregå på; om det skal tegnes i tradisjonell 2D eller i 3D. I de fleste sammenhenger blir det produsert 2D-tegninger, da dette er formatet som entreprenør har kjennskap til.

Den tradisjonelle armeringsprosessen er noe som har fungert i lengre tid, men den har helt klart utbedringspotensial. I prosjekter hvor det blir brukt armeringstegninger kan det til tider være vanskelig å forstå hva RIB har tenkt. Grunnen til dette er at 2D-tegninger kun er streker på ett papir. Prosjektering av 2D-tegninger gir på en annen side muligheter til flere snarveier enn det 3D-modeller gjør. Dette er fordi 2D-detaljering kan enkelt lages med å tegne streker og skrive hva det skal forestille, men i en 3D-modell må alle detaljer være korrekte og tilføres nok informasjon til å kunne presenteres i 3D. Det finnes også flere fordeler, men også ulemper ved bruk av 3D. Noen av fordelene er at det medfølger armeringsdetaljer på elementene i modellen og at det er enklere å ta seg rundt i modellen. 3D-modellen gjør det enklere å se plasseringen til armeringsjernene i forhold til andre bygningselementer. Det vil på en annen side kreve at de involverte har kjennskap til bruk av 3D BIM-programmer og funksjoner. I større prosjekter, kan det være vanskelig å holde kontrollen over alle materialer, bestillinger og revisjoner av tegningene. Det kan forårsake utfordringer på byggeplassen, og føre til at fremdriften må kartlegges på nytt eller at flere av støpetappene må skje parallelt. Da kan det være fordel å bruke 3D-verktøy, hvor aller siste revisjon alltid er oppdatert på for eksempel ett nettbrett eller BIM-verktøy på byggeplassen. Ut i fra dette kan det tenkes at det er mulig å spare inn arbeidstid som igjen gir reduksjon i kostnader (Norsk Betongforening, 2018).

De fleste armeringsverksteder har helautomatiske og til en vis grad digitaliserte anlegg for kapping og bøying. I *Norsk betongforenings* utkast om armering, blir arbeidsprosessene fra transport til ferdigstilling på byggeplassen beskrevet med punktene på neste side (Norsk betongforening, 2018).

1. transport til mellomlager
2. tildekking av armering (dersom mellomlageret er utsatt for saltvann)
3. transport til forskaling
4. måling, oppmerking og utlegging
5. binding/fastgjøring av armering i rett posisjon og sikring
6. kontroll

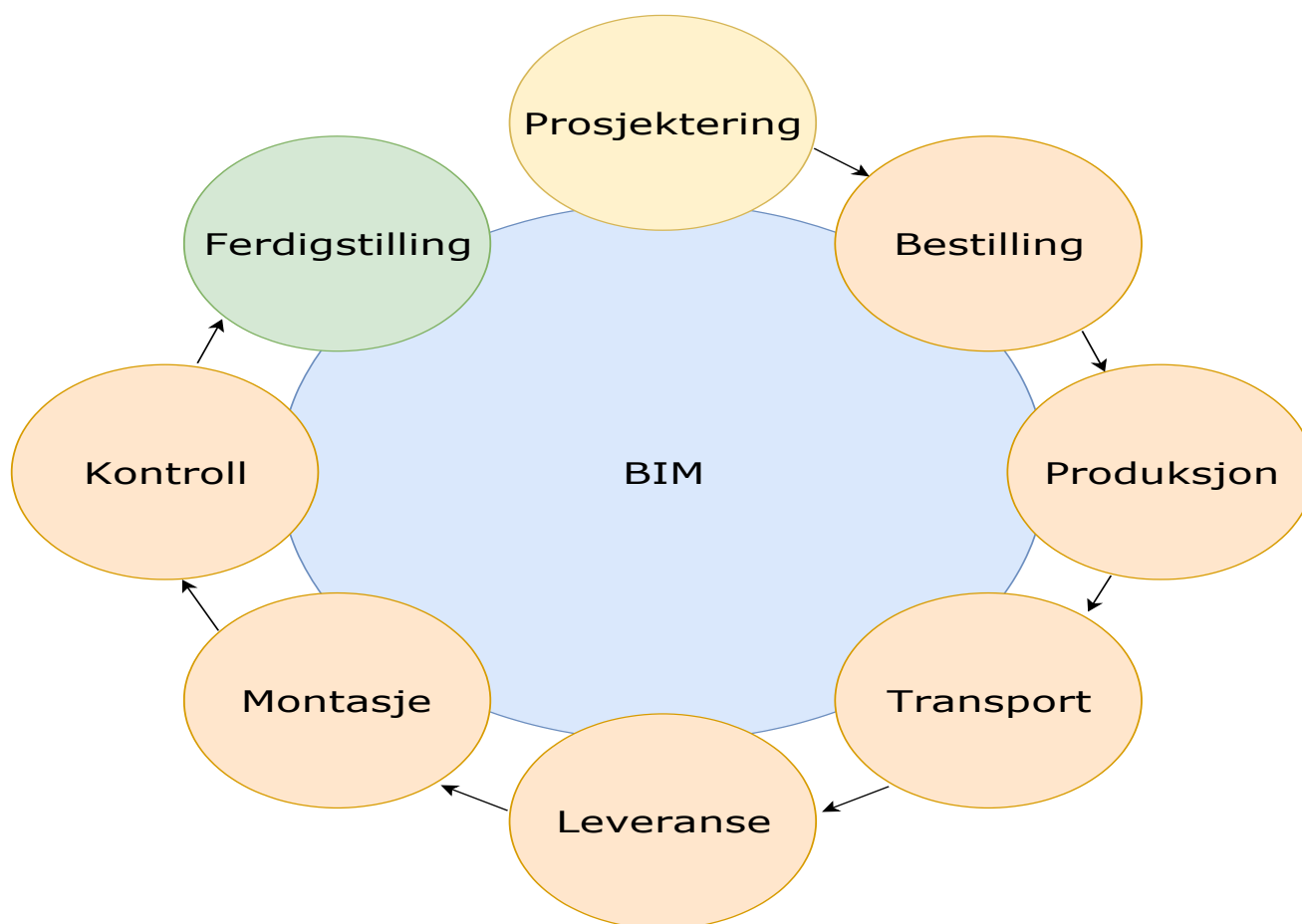
2.2.2 Den digitale armeringsprosessen

Den digitale armeringsprosessen vil fremme bruk av BIM-verktøy i planleggingsfasen og legger til grunn for mer effektiv overføring av data og informasjon i hele prosjektet. BIM-modellen kan berikes med informasjon om alt fra dimensjoner på armering til lengder, avstander og vinkler på armeringsjernene. Informasjonen som legges inn vil kunne gjenbrukes og overføres gjennom alle ledd i prosessen. Programvarer kan håndtere mye tidskrevende arbeid ved at det manuelt skriver inn data. Programvarene utvikles hele tiden og tilføres nye og "smarte" løsninger som også gjør det enklere for RIB. Bruken av BIM gjør at det er mulig å visualisere armeringsjernene fra flere sider fordi BIM bygger på bruk av 3D visninger. Det finnes flere typer samhandlingsplattformer som håndterer disse modellene og den informasjonen de blir beriket med. Det er mulig å åpne modeller på byggeplass ved bruk av smartbrett, mobiltelefoner eller BIM-kiosker. Programvarer kan også gjennomføre regelsjekker for å kontrollere armeringsjernenes spesifikasjoner og at de er innenfor definerte rammer. I stedet for å bruke 2D-verktøy som produserer "døde" modeller med lite tilleggsinformasjon er det mulig å bruke 3D BIM-verktøy som fremstiller levende modeller med smarte løsninger som utvikles gjennom hele prosjektets levetid. Modellene som blir produsert av RIB kan også arkiveres og gjenbrukes, noe som kan spare inn tid ved senere prosjekter.

En digital armeringsprosess har også stort potensiale hos armeringsprodusent. Enkelte armeringsprodusenter har digitale systemer som kan hente ut informasjon direkte fra BIM-modellen. Muligheten til å produsere armering etter BIM-modellen vil gjøre at det ikke blir nødvendig å produsere bøyelister. De nye datasystemene kan håndtere modellen slik at det produseres angitte armeringsjern fortløpende. Armeringsjernene kan ved bruk av BIM-verktøy legges inn med forskjellige fargekoder og leggerplaner. Leggeplaner er tegningsanvisninger som viser de på byggeplassen hvordan armeringen skal legges i forskalingen, akkurat som på en enkel og oversiktlig bruksanvisning. I BIM-programmer finnes det regelsjekker for armeringsjernene som sjekker dem etter formkoder, kollisjoner med andre bygningselementer, status mot revisjon, størrelser og vekt.

Noe som også kreves av den digitale armeringsprosessen er at dette er riktig implementert innen alle leddene. Fra det blir tegnet av RIB til det skal legges på arbeidsplass. Det må være en felles forståelse for bruk av programvare og åpne formater. Åpne formater er nødvendig for at alle skal

kunne hente frem modellene gitt at det brukes forskjellige programvare mellom de involverte. Typisk for dagens armeringsprosess er at bruk av BIM utføres i prosjekteringen, men at BIM uteblir i både armeringsproduksjonen og i montasjen. I tilfeller hvor BIM bare er inkludert i en av tre eller to av tre faser, gjør at en mister flere BIM-muligheter i senere i prosjektet. En overgang til bruk av BIM i alle faser; prosjektering, armeringsproduksjon og montasje av armering er ønskelig for å gi den aller beste forutsetninger for et vellykket og oversiktlig prosjekt (Norsk Betongforening, 2018).



Figur 4 - Bruk av BIM i digital armeringsprosess

Den største forskjellen mellom armeringsprosessene er bruken av BIM. Figur 4 viser til den digitale armeringsprosessen hvor BIM er integrert i hele forløpet fra prosjektering til ferdigstilling. Prosjekteringen vil kreve bruk av 3D-modeller i en digital prosess, noe som kan gi RIB mer arbeid i starten. På en annen side vil bestilling av armeringsjern foregå sømløst ved hjelp av digitale formater som sendes til armeringsprodusent. Armeringsprodusenter vil bruke digitale systemer til å produsere armering etter 3D-modellene, og trenger ikke manuellproduserte bøyelister. Videre vil transport være tilrettelagt allerede i prosjekteringen ved at 3D-modellen er tilpasset størrelser og vekt på lastebiler og kraner. I tillegg er det mulig å fordele modellen inn i produksjonsetapper som gjør at armeringen blir produsert i optimal rekkefølge. Entreprenøren kan kontrollere leveransen av armering ved bruk av farge- og tallkoder som kommer på armeringsmerkelappen som er tilpasset 3D-modellen. Montasjen skjer ved bruk av BIM-verktøy som presenterer modellen i 3D, noe som gjør montasjen mer oversiktlig. Kontrollpunkter og sjekklister

tilpasset BIM-verktøy gjør det mulig å ta stikkprøver og kontrollere armeringsjern ved bruk av 3D-modellen.

2.3 Prefabrikkerte elementer vs. stedstøpte elementer

Entreprenør har i oppgave å planlegge bygget etter bruk av prefabrikkerte eller stedstøpte betongelementer. Valget entreprenør tar vil påvirke både montering og legging av armeringen. Grunne til dette er at det vil bli et annet forløp for legging av armering. For stedstøpt armering vil det foregå slik at produserte armeringsjern fraktes og legges på byggeplassen. For prefabrikkerte elementer derimot, vil armeringen bli fraktet og ferdigstilt på betongverkstedet. Det blir ofte brukt en blanding av både stedstøpte og prefabrikkerte elementer i et byggeprosjekt. Dette er et valg entreprenør må ta i planleggingsfasen. Da må entreprenør ta stilling til optimalisering av løsninger med tanke på fremgang og plass på byggeplassen. I dagens marked har det i lengre tid vært mest populært å produsere stedstøpte betongelementer, men det blir mer og mer vanlig å bruke prefabrikkerte løsninger. For å vurdere bruk av prefabrikkerte- og stedstøpte løsninger, er det valgt å undersøke fordeler og ulemper ved de ulike metodene.

2.3.1 Stedstøpt elementer

Stedstøpt betong er den tradisjonelle metoden å støpe et bygg på. Det lages forskalingsformer, deretter bindes armeringen i formene og så fylles formene med ferdig blandet betong. Fordelene med denne metoden er at den er stabil, da de fleste anleggsarbeidere er kjent med metoden. I tillegg er det en tilpasningsdyktig metode, som kan tilpasses hvis det må rettes opp i feil eller skjevheter under byggeprosessen. Ulempene med stedstøpte løsninger er at det krever mer tid og større lagringsplass. På prosjekter som ikke har stort anleggsområde kan dette føre til at området blir uoversiktlig. I tillegg til lagringsplass til armeringsjern og forskalingsssystemer, krever også stedstøping høy bemanning. Stedstøpt armering er på en annen side den billigste løsningen av de to (Teknisk Ukeblad Bygg, 2018).

2.3.2 Prefabrikkerte elementer

Prefabrikkerte elementer er allerede klare betongelementer med armering som fraktes til byggeplassen for montering. Elementene fungerer som større "legoklosser" i ett stort byggesett. Hvis disse elementene blir produsert og montert innen gode tidsrammer, kan dette spare byggherren for store kostnader. Betongelementene krever mindre lagringsplass på byggeplassen, da disse leveres direkte til montering. Prefabrikkerte elementer har også en fordel med at det blir laget under optimale produksjonsforhold innendørs, og det har derfor en forutsigbarhet. Ulempen med prefabrikkerte elementer er at disse er lite tilpasningsdyktige hvis det forekommer endringer i konstruksjonen underveis. Dette kan føre til store ekstrakostnader hvis større endringer må bli foretatt (Teknisk Ukeblad Bygg, 2018).

Selv om det ofte brukes prefabrikkerte betongelementer, finnes det også prefabrikkerte armeringselementer. Det vil si armeringen som blir ferdigstilt, sveist og montert på armeringsverksted. Det brukes enten manuell eller automatiske systemer for å lage prefabrikkert armering. Prefabrikkert armering kan for eksempel være; armering til fundament i rull, veggarmoring eller kantdragere. Dette gjøres ofte hvis en ønsker raskere fremdrift på byggeplassen, eller hvis det er forhold på byggeplassen som gjør det vanskelig å montere armeringen. Prefabrikkert armering koster mer enn tradisjonell løs armering, da denne er forhåndsmontert. Figur 5 illustrerer transport av prefabrikkerte armeringselementer.



Figur 5 – Prefabrikkert armeringselement (Kamstål, u.å.)

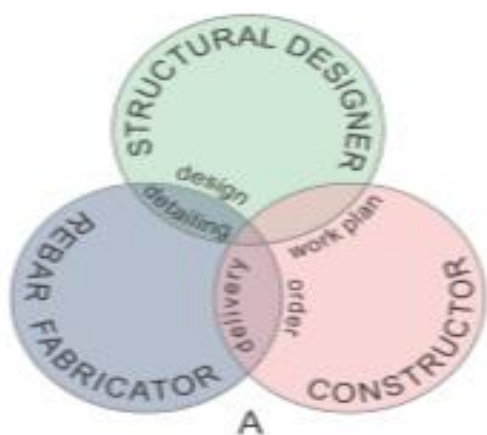
Det finnes ikke en fasit på bruk av stedstøpte- eller prefabrikkerte elementer, da dette avhenger av entreprenørens valg og størrelse på prosjekter. Det er både fordeler og ulemper ved bruk av disse metodene, derfor er det vanligste å bruke en kombinasjon av metodene. Det er uansett viktig å vurdere bruk av prefabrikkert opp mot løse armeringsjern på byggeplass. Prefabrikkerte elementer vil kreve mindre personell på byggeplassen, samt at det vil kreve mindre tid på leting og montering på byggeplassen.

2.4 Tegningsfrie prosjekter

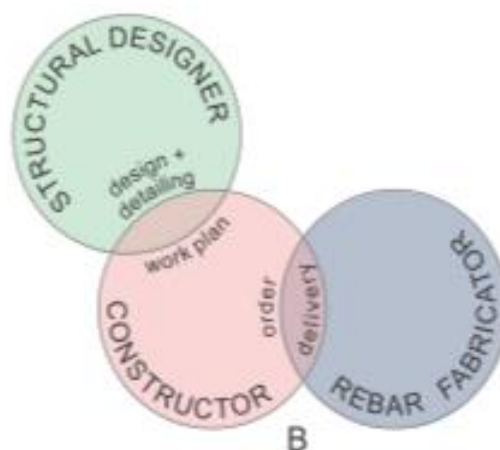
Det finnes flere ord og uttrykk som betyr det samme som "tegningsfrie" byggeprosjekter. Eksempler på dette er "tegningsløse"- eller "modellbasert" byggeprosjekter. Begge uttrykkene betyr det samme som "tegningsfri", og det forteller at prosjekter skal utføres kun ved bruk av 3D-modell. Prosjekteringen og utførelsen av et byggeprosjekt skal foregå helt uten bruk av 2D-tegningsgrunnlag. Ved å gjennomføre prosjekter kun ved bruk av modell er det flere endringer som må tilpasses nåværende prosesser. Entreprenører får per i dag 2D-tegningsgrunnlag på alt av armering og bærende systemer. Dette er for å levere tilstrekkelig produksjonsgrunnlag med detaljer og informasjon til byggeplass. For å kunne oppnå tegningsfri produksjon på byggeplass er de involverte arbeiderne på byggeplassen nødt til å kunne håndtere modellen på riktig måte. Ved hjelp av BIM-verktøy utviklet for byggeplass er det fullt mulig å hente ut de samme 2D-tegningene som tidligere ble laget av RIB. Ved bruk av digital armering er det mulig å oppnå enda flere muligheter i tegningsfrie prosjekter. Digital armering gjør at også armeringsprodusenten kan få utbytte av tegningsfrie prosjekter. Armeringsprodusenten kan bruke integrerte BIM-systemer som håndterer, kontrollerer og produserer etter modellgrunnlaget (NorgesBIM, 2015).

2.5 Samspill mellom de involverte

Til tross for den økende interessen ved bruk av BIM, er dette bare starten på utviklingen av BIM og bruk i hele livssyklusen av byggeprosjekter. BIM har vist en jevn verdensomspennende utvidelse blant byggebransjen, motivert av sine medfølgende fordeler eller etterspørsel fra offentlige og private entreprenører. Til tross for fremskrittene innen BIM, er bruken av BIM fortsatt mer konsentrert i førkonstruksjonsfasen, for eksempel design, 3D-koordinering, kvantitetsopptak og byggeplanlegging. Det er fortsatt ikke blitt tatt i bruk på en integrert måte, for leverandører og produsenter av bygningskomponenter som for eksempel prefabrikkering eller armering. BIM-drevet prefabrikkering eller digital fabrikasjon er påpekt som en av prosessene som har størst potensiale til utvikling i fremtiden. Selv om det er mye likheter i alt fra utforming, detaljering, anskaffelser, fabrikasjon, levering, lagring og montering av armeringen, vil det forekomme forskjellige ordninger og metoder for de involverte. Dette er særlig påvirket av regionale praksiser, standarder, prosjektleveranser og forhold mellom de involverte. Figurene illustrerer de to vanligste samspillene mellom de involverte i prosjektering og utførelsesfasen (ISARC, 2017)



Figur 6 - Samspill A (ISARC, 2017)



Figur 7 – Samspill B (ISARC, 2017)

Figur 6 viser et forhold hvor de involverte har ett felles samarbeid, med ulike oppgaver. RIB designer og tegner armeringen alene, men bestemmer detaljene på armeringen med armeringsprodusent. RIB har også i oppgave å lage en arbeidsplan for prosjektet sammen med entreprenøren. Entreprenøren har ansvar for bestillinger, men må i samsvar med armeringsprodusent opprette leveranseplaner. Figur 7 viser et forhold hvor entreprenøren fungerer som ett mellomledd for de andre involverte. Her har RIB det fulle ansvaret for alt fra design til detaljering av armeringen. RIB utarbeider arbeidsplan sammen med entreprenøren. Entreprenøren har så i oppgave å videreformidle disse tegningene til armeringsprodusent for å sette opp bestillinger og leveransetidspunkt. Særlig typisk for den brasilianske armeringsnæringen er bruk av samspill B, mens i USA er samspill A mest brukt (ISARC, 2017).

I Norge brukes en blanding av disse samspillene, alt avhengig av hvilke firma som er inkludert og størrelse på prosjekt. De forskjellige samspillene har både fordeler og ulemper. Samspill A fremstår som ett inkluderende samspill hvor alle involverte får tidlig delta i prosjektet. Det kan gi bedre forståelse av hva som skal gjøres i prosjektet. En bedre forståelse av prosjektet kan føre til raskere fremgang, høyere kvalitet og mindre misforståelser. Samspill B derimot krever gode kommunikasjonskanaler gjennom entreprenøren for å oppnå samme effektivitet. Bruken av samspill B er oftest brukt i prosjekter hvor armeringsprodusenten kun skal delta med produksjon og leveranse av armering. Videre i oppgaven drøftes det om hvilke samspill som fungerer best i praksis, og hva armeringsprodusenten kan bidra med i prosjekteringsfasen.

2.6 Programvare

Tegning, beregning og detaljering av prosjekter gjøres mer og mer digitalt. Før ble tegning laget for hånd eller ved hjelp av 2D-tegningsprogramvarer. Utviklingen av BIM og 3D-design verktøy har vært med på å gjøre byggebransjen enda mer digital. De neste delkapitlene vil beskrive ulike verktøy for konstruksjon og samhandling.

2.6.1 Konstruksjonsverktøy

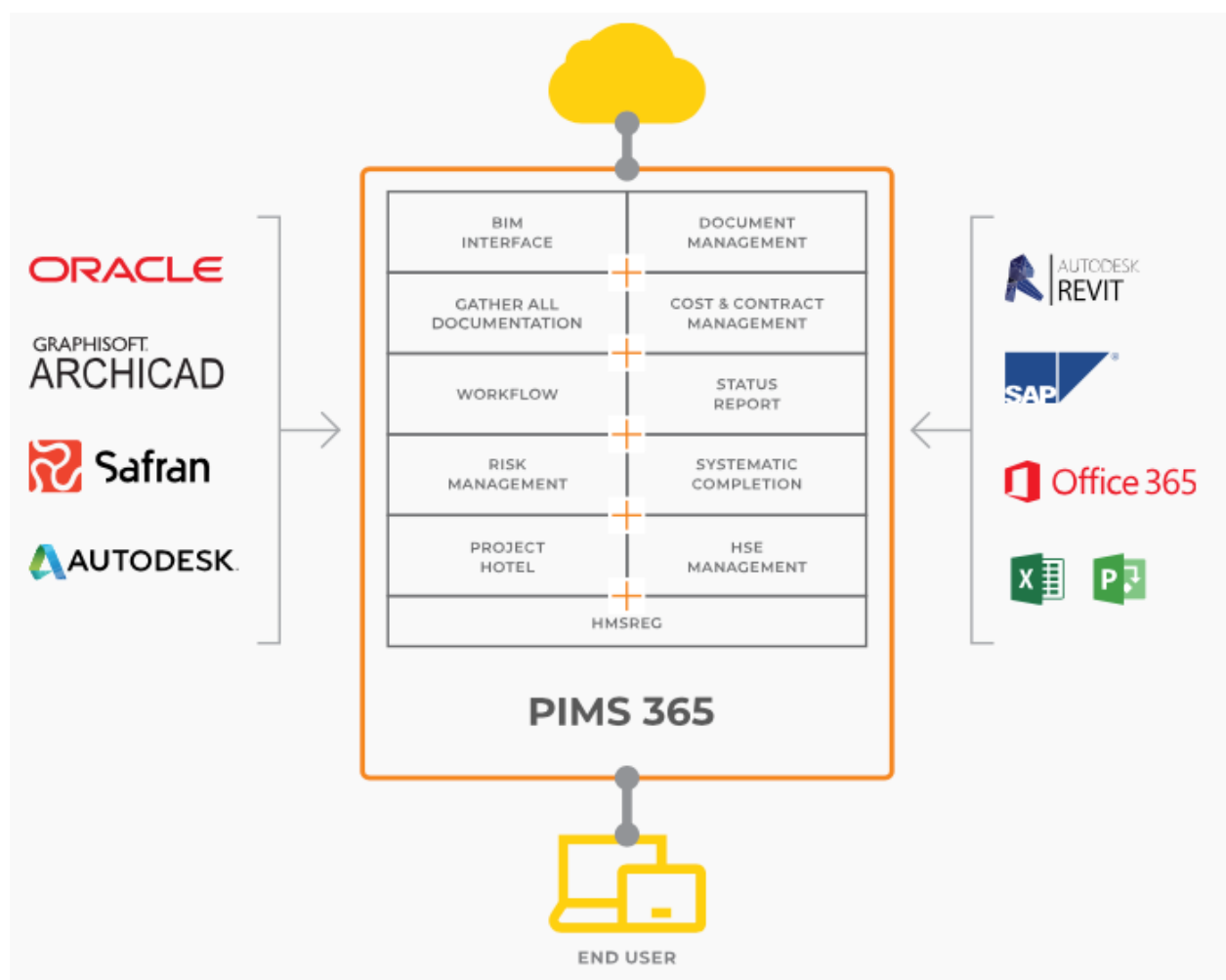
Når konstruksjonsingeniører skal modellere og prosjektere bygg blir det oftest brukt prosjekteringsverktøyet *Revit* eller *Tekla*. Både *Revit* og *Tekla* er BIM-verktøy som kan brukes til å modellere armering og konstruksjoner i 3D. *Tekla* kommer som en komplett pakke, men i *Revit* er det muligheter for å laste ned "plug-ins". Det vil si såkalte tilleggspakker som er produsert av eksterne firma. Disse tilleggspakkene skal tilby tjenester i programmet som ikke finnes, eller forbedre den helhetlige opplevelsen av verktøyet. Det brukes ofte en "plug-in" med navn *Naviate* for å håndtere armering i *Revit*. Denne tilleggspakken inneholder smarte løsninger som gjør det enklere og mer oversiktlig å armere i *Revit*. I denne oppgaven er det lagt hovedvekt på bruk av *Revit* med *Naviate*.

2.6.2 Samhandlingsplattform

Når RIB har kontrollert og godkjent modellene og tegningene av bygget, sendes dette videre til entreprenør via en samhandlingsplattform. Her finnes det mange muligheter. Oftest blir filer utvekslet i webhoteller, som er såkalte nettsider hvor "store" filer kan bli lastet opp og lagret. Her er det spesielt viktig å bruke åpne BIM formater. Åpen BIM eller åpne BIM-formater er en beskrivelse på programmer og formater som er åpne for alle uavhengig av programvaren modellen er laget i. På byggeplassen finnes programvarer som håndterer disse åpne filene, og presenterer modellene i enkle "views". Her blir ofte konstruksjonsverktøyet utelat, og det vil da være enkelt for entreprenører å bruke. Det finnes flere samhandlingsplattform, men det er valgt å fokusere på bruk av *Pims365*, *Solibri Model Checker* og *StreamBIM*.

2.6.2.1 Pims365

Pims365 er en samhandlingsplattform som brukes hyppig. Denne er utviklet av *Omega* og brukes på prosjekter som *Johan Sverdrup* og *SUS2023*. *Pims365* er et prosjektstyringsverktøy som holder kontroll på fremdrift i kritiske faser i prosjekter ved å holde de involverte informerte. *Pims365* er utviklet for byggebransjen og kombinerer både teknisk og kommersielle data som grunnlag for å holde informasjonsgrunnlaget strukturert og generere den viktigste informasjonen til brukeren. *Pims365* kan enkelt integreres i eksterne systemer og det mulig å implementere bare de viktigste modulene inn i systemene. BIM er integrert i alle deler av *Pims365*, og gir derfor full kontroll over feil og saker som oppstår underveis. *Pims365* gir muligheter til å håndtere definerte krav, dokumentplaner, dokumentasjon for styring, drift, vedlikehold og utvikling av prosjekter. Det kan opprettes saker og rapporteres om sikkerhet, helse, arbeidsmiljø, overholdelse og uønskede hendelser i prosjektforløpet. Brukerne kan enkelt fordele informasjonen i forskjellige kategorier, samt tildele de ulike involverte forskjellige roller slik at de får tilgang til de mest nødvendige dokumentene. I tillegg er det mulig å holde kontroll over endringer, kontrakter og kostander i prosjektet. I figur 8 illustreres alle parameterne og grupperingen som *Pims365* består av (Omega, u.å.).



Figur 8 - Brukergrensesnitt i Pims365 (Omega, u.å.)

2.6.2.2 Solibri Model Checker

Solibri er ett velkjent samhandlingsverktøy som brukes av de fleste i byggebransjen; både entreprenører og ingeniører. *Solibri* er ett verktøy for visualisering, analyse, kvalitetssikring og effektiv samhandling i BIM-prosjekter. *Solibri* bruker IFC-formatet som grunnlag, da dette er ett åpent BIM-standard format. I *Solibri* er det mulig å gjennomføre både kollisjonskontroll og regelsjekker av konflikter og brudd på standarder og regler. En kollisjonsjekk blir brukt for å gi indikasjon på kollisjoner mellom elementer i de forskjellige modellene. Det blir brukt for å understreke hvem eller hva som må flyttes for å unngå kollisjon når det skal bygges (Graphisoft, u.å.).

Denne oppgaven vil bruke funksjonene til *Solibri* for å effektivisere og bedre kommunikasjonen mellom aktørene som er involvert. Ved bruk av klassifiseringsfunksjoner i *Solibri* vil det bli foreslått metoder for å opprettholde status over hva som blir gjort på byggeplassen. Kommunikasjon- og statusfasen er avgjørende faser for å kunne oppnå høyere effektivitet i samhandlingsprosessen.

2.6.2.3 StreamBIM

StreamBIM er ett nylig utviklet BIM-verktøy som skal fungere på alle alt fra PC/MAC til nettbrett og smarttelefon. *StreamBIM* har ett enkelt brukeropplett som baseres på enkle og oversiktlig modellhåndteringer. Modeller blir delt inn i gruppering etter fag. Endringer og oppdateringer prosesseres umiddelbart via sanntidsoppdatering av BIM-modellene. Det er også enkelt å ta snitt, måle og skjule objekter i modellene. Det er mulig å gi forskjellige "tags" til ulike deler eller rom av bygget. Det gir muligheten til å søke og enkelt ta seg til det stedet i modellen som er ønsket. *StreamBIM* fungerer også som ett webhotell hvor modeller og tegninger er samlet i ett mappesystem (StreamBIM, u.å.).

2.6.3 Mobile verktøy

For at BIM skal bli brukt på byggeplass bør det kunne håndteres på en effektiv og enkel måte. På byggeplassen kan det forekomme varierende vær og temperaturer, og derfor er det ønskelig å ha modellen på en enhet som ikke påvirkes av dette. Smartbrett, smarttelefoner og BIM-kiosker er det som er mest brukt i dag. BIM-kiosker er tradisjonelt sett en god måte på å ta seg rundt i modellen sammen med de andre på byggeplassen, men de er ikke særlig mobile. Ofte må anleggsarbeiderne frem og tilbake fra BIM-kiosken hver gang det oppstår utfordringer. BIM-kioskene har utviklet seg fra å være PCer med BIM-verktøy i ett brakkebygg til nå å være fullt mobile BIM-stasjoner som kan kjøres rundt på byggeplassen. Figur 9 og 10 visualiseres mobile BIM-kiosker. De utviklede BIM-kioskene som kan kjøres rundt på byggeplassen er gode å bruke under optimale forhold. I tilfeller hvor disse ikke kan fraktes helt til ønsket område, kan det være en fordel å bruke en smarttelefon- eller smartbrett-løsning. Bruk av smarttelefon eller smartbrett gir mye av de samme mulighetene som en BIM-kiosk, bare enda enklere å ta med seg rundt på byggeplassen (Sverdrup Strand, 2016).



Figur 9 - BIM kiosk (RUFO, u.å.)



Figur 10 - BIM kiosk (RUFO, u.å.)

Under byggingen av kunst- og designhøgskolen i Bergen har *Statsbygg* krevd full bruk av BIM. I dette prosjektet var *Norconsult* involvert, og prosjekteringsleder Sven Wertebach sier følgende om bruk av BIM på byggeplass: "Det har stått seks BIM-kiosker ute på byggeplassen og alle håndverkerne har hatt tilgang til 3D-modellen og tegninger. I tillegg har det vært brukt iPad'er for å håndtere all sakshåndtering digitalt og for å kunne lese tegninger og delvis modeller. Nettbrettet bruker vi i hovedsak til å registrere avvik. Prosjektet har brukt BIM 360 Field, der man registrerer saker, noe nettbrettet har blitt brukt flittig til. 4500 saker i ulike kategorier har blitt løst til nå i prosjektet". Selv om BIM-kiosker, smartbrett og smarttelefoner er godt utviklet, konkluderer Sven Wertebach med at 2D-tegninger fortsatt er nødvendige. Han konkluderer slik: "Når det kommer til produksjonen, er de fleste fortsatt glade i tegninger. Dette fordi BIM-kioskene er statiske, det vil si at man kan ikke huke av hva man har gjort eller ikke gjort. Detaljtegninger må også produseres i 2D på grunn av informasjonsmengden. Det er også litt vanskelig for hver enkelt å få målsatt det man skal bygge ut fra modellen, noe som gjør at man er avhengig av tegninger. Likevel er det mulighetene for supplerende mål, tverrfaglig modellvisning og all den ekstra informasjonen en modell har i forhold til tegninger som gir mye av gevinstene. Nøkkelen er å tilrettelegge den prosjekterte modellen for byggeplassbruk. Ikke oversvømme de utførende med informasjon, men med rett informasjon lett tilgjengelig. Også administrativt personell har benyttet modellen mye til planlegging og logistikk" (Norconsults informasjonssystemer, 2017).

Det finnes flere BIM-programvarer som håndterer modellene på smartbrett eller smarttelefoner. Enkelte programvarer opererer via nettleser, noe som gjør at modellene er enkelt tilgjengelig på enhver enhet. Eksempler på BIM-verktøy direkte i nettleser er *BIMsync*. *BIMsync* er ett smart webhotell som kan hente inn modeller og kommunisere mellom de involverte i prosjektet. Det er mulig å kommentere kollisjoner eller saker som oppstår under bygging. *BIMsync* har alltid siste revisjon tilgjengelig og fungerer som en god kommunikasjonskanal mellom de involverte (Catenda, u.å.). Andre eksempler på BIM-programvare som kan brukes på byggeplassen er *BIM*

360 Field og Trimble Connect. Valg av programvare på nettbrett og telefoner er opp til entreprenøren. Det viktigste er at programvaren fungerer og gir utbytte for de som skal bruke den. For å kunne ha ett effektivt papirfritt prosjekt må programvaren som blir brukt ha et enkelt grensesnitt som er tilpasset bruk på byggeplass.

2.7 Formater

Det finnes ulike formater som tilhører forskjellige BIM-programvarer. De fleste BIM-programvarer har egne formater som definerer sine filer, men det finnes også muligheter for å lagre disse filene i såkalte åpne BIM-formater. Det er spesielt viktig å bruke de åpne BIM-formatene i prosjekter med aktører fra andre firma. Ofte brukes det forskjellige konstruksjonsverktøy, noe som gjør at åpne BIM-formater er nødvendige for å kunne hente inn modellene produsert av andre involverte. Den mest brukte åpne BIM-formatet er *IFC*, noe som vil bli tatt opp i videre i dette delkapittelet. I tillegg blir det tatt opp bruk av *BVBS*, som er et åpent format for håndtering av armering i digitale systemer.

2.7.1 IFC

IFC-formatet gir mulighet til å kommunisere med andre involverte aktører ved hjelp av BIM, istedenfor de tradisjonelle 2D-tegningene. Det gjør at alle involverte kan ta ut eller legge til informasjon i en felles modell. *IFC* er et åpent format som fungerer uansett hvilken programvare brukeren har. Det gjør at alle involverte prosjekterende fagdisipliner, oppdragsgivere og entreprenører kan ha en felles modell uavhengig av hvilken programvare og BIM-verktøy som brukes. *IFC*-formatet er utviklet som en åpen standard slik at alle fritt kan velge BIM-verktøy basert på egne behov fremfor å bruke den programvaren "alle" andre bruker. I Norge er det *buildingSMART* som styrer utviklingen til *IFC*-formatet. Formålet med utvikling av *IFC* er at byggebransjen skal ha et felles filformat alle kan bruke. Det gjør at en i høyere grad kan involvere alle i bruken av BIM, i motsetning til de konvensjonelle 2D-tegningene (Graphisoft, u.å.).

2.7.2 BVBS

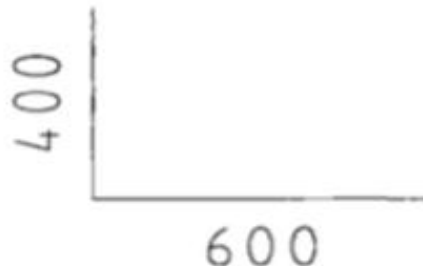
Bundesverband Bausoftware (BVBS) er et filformat som kan utveksle informasjon mellom låste programvarer og automatiske bøyemaskiner uten manuell inngrep. *BVBS* bygger på åpne filformater som *IFC* og det gir muligheter til å hente inn armeringsdata direkte fra modell produsert i *Tekla* eller *Revit*. *BVBS*-spesifikasjonen har en datastruktur fra designerens perspektiv, uavhengig av fabrikkasjonsmaskinen som vil bli brukt. *BVBS*-formatet kan leses uansett hvilke BIM-verktøy som har produsert filen. Filene kan enkelt eksporteres direkte fra bøyelister eller modeller, men det er viktig å basere bøyelistene på standardiserte formkoder etter *NS-EN:3766*. *BVBS* beskriver armeringens geometri med polarkoordinater for todimensjonale og kartesiske koordinater for tredimensjonale bøyer. Gevinsten med *BVBS* formatet er at det kan produsere armeringsjern med vilkårlig geometri uten bruk av menneskelige mellomledd. Det gjør det mulig å sende bestillingen av armering direkte til "kapp og bøy"-produsent uten potensielle

feilinntastinger fra ett mellomledd. Formatet er på en annen side ganske vanskelig å forstå for de som ikke har kjennskap til det, noe som fører til at manuell kontroll må bli gjort av fagspesialister (BVBS, u.å.).

The header block therefore reads:

BF2D@HjTestPDF@r417@ia@p1@l1000@n10@e0.888@d12@g500S@s48@v@
(59 characters)

Example 1:



The geometry block reads:

GI400@w90@l600@w0@

The complete string therefore reads:

BF2D@HjTestPDF@r417@ia@p1@l1000@n10@e0.888@d12@g500S@s48@v@
GI400@w90@l600@w0@
C88@CRLF
(83 characters)

Figur 11 - Eksempel av oppbygging av BVBS streng (ISARC, 2016)

I figur 11 fremstilles ett eksempel på oppbyggingen av armeringsjern i BVBS-formatet. Den komplette informasjonen av det følgende jernet blir beskrevet slik:

"BF2D@HjTestPDF@r417@ia@p1@l1000@n10@e0.888@d12@g500S@s48@v@GI400@w90@l600@w0@"

For de fleste kan disse kodene virke uforståelige, men hvis det settes i et system blir det enklere å forstå. "@" blir brukt for å skille hver parameter fra hverandre. Hvis BVBS-strengen deles opp i to deler er det enklere å forstå den integrerte informasjonen. Den første delen presenteres som følgende:

"BF2D@HjTestPDF@r417@ia@p1@l1000@n10@e0.888@d12@g500S@s48@v@"

Denne delen står for informasjonen som er knyttet opp mot prosjektet og armeringsdetaljer. Det kan sorteres som i tabell 1.

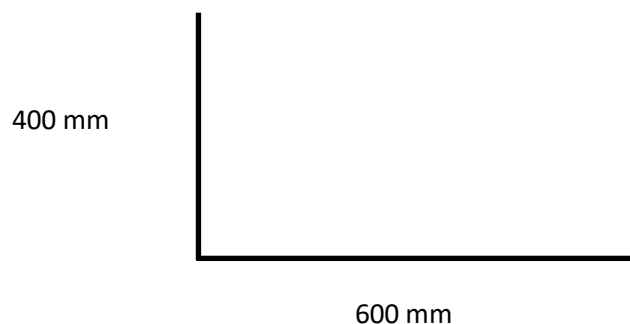
Fra eksempel	Egentlig parameter	Betynding av parameter	Betynding fra eksempel
BF2D	-	Armeringstype (2D, 3D, nett)	2D armering
HjTestPDF	j	Prosjektets navn eller nummer	TestPDF
r417	r	Tegningsnummer	417
ia	i	Revisjonsnummer indeks	a
p1	p	Posisjonsnummer	1
l1000	l	Total lengde	1000 mm
n10	n	Antall armeringsjern	10
e0.888	e	Vekt per armeringsjern	0.888 kg
d12	d	Diameter på armeringen	12 mm
g500S	g	Stålkvalitet	500S
s48	s	Dordiameter/Bøylediameter	48 mm
v	v/h	Startposisjon vertikal/horisontal	Vertikalt

Tabell 1 - Sortering av BVBS-strengen

Den andre delen av BVBS-strengen forteller hvordan geometrien til jernet vil fremstilles. Geometrien settes opp av definerte lengder og vinkler. Digitale armeringssystemer kan produsere vilkårlige jern, men det er viktig å bruke definerte vinkler som har tilhørende formkoder. Geometristrengen i dette eksempelet ser ut som følgende:

"@G|400@w90@l600@w0@"

"G" gir en indikasjon på at denne strengen gjelder geometridelen. "l400" står for en startlengde på 400 mm. På grunn av tidligere informasjon om at jernet skal ha en startposisjon i vertikal retning, må det bli tatt hensyn til dette. Videre følger "w90" som står for positiv vinkel på 90 grader. Hadde det stått "w-90" hadde det da betydd negativ 90 graders vinkel. Videre informasjon på "l600" står for lengde på 600 mm og til slutt en sluttvinkel på 0 grader. Jernet vil derfor presenteres som i figur 12.



Figur 12 - Eksempel på armeringsjern med mål

2.8 Bøyelister

2.8.1 Oppsett av bøyelister

Det finnes flere måter å produsere bøyelister for armeringsjern som skal til produksjon, men de fleste er basert på standarden for formkoder og bøyelister etter *NS-EN ISO:3766 - Byggetegninger, forenklet tegnemåte for armering i betong*. Standarden for formkoder brukes også for å definere armering i *Tekla* og *Revit*. En vanlig måte å hente ut bøyelister på er at RIB tar ett mengdeuttak av armering fra 3D-modellen, og legger dette inn i ett *Excel* skjema. Det er også mulig at RIB manuelt skriver bøyeliste fra mengdeuttaket og legger inn i ett *Excel*-skjema eller *PDF*-fil. Dette skjemaet blir så videresendt til entreprenør, som deretter oppretter en bestilling som videreformidles med armeringsprodusent. I dette systemet finnes det flere forskjellige programmer og metoder som entreprenør og armeringsprodusent bruker. Felles for disse er at det som oftest må bli gjort manuelle inntastinger i integrerte systemet, noe som kan forårsake feilinformasjon fra ett ledd til det neste. For å kunne unngå feilinntastinger og spare tid på manuelt arbeid, er det mulig å utnytte BIM-modellen og produsere bestillingsliste direkte i fra modell. Her er det nødvendig å bruke åpne formater som både produksjonssystemer og prosjekteringsverktøyet kan lese. Det beste formatet som eksisterer i dag, er bruk av filformatet *BVBS*.

Tabell 2 viser forslag til bøyeliste etter NS-EN ISO:3766. Det er opp til hvert firma å sette opp bøyelister på sin egen måte, men det viktigste er at informasjonsgrunnlaget er tilstrekkelig. Derfor vil det ofte forekomme forskjellige oppsett på bøyeliste etter hvilket firma som har produsert den.

Member	Bar mark	Type of steel	Bar diameter mm	Length of each bar (Method A) m	Number of members	Number of bars in each member	Total number	Total length m	Shape code	End hook		Bending dimensions mm							Index
												a	b	c	d	e	R	h	
Slab 1	01	BST 500 S	28	3,60	1	10	10	36,00	00	0	0	3 600							
Slab 2	02	BST 500 S	28	3,94	1	20	20	78,80	11	1	1	2 400	1 000					270	
Slab 3	03	BST 500 S	28	3,17	1	2	2	6,34	12	1	1	1 520	1 320				472	270	
Corbel	04	BST 500 S	16	3,27	5	3	15	49,05	13	1	1	1 320	640	1 320				130	
Wall	05	BST 500 S	28	6,34	2	4	8	50,72	15	1	1	1 000	4 800	1 500				270	
Beam 1	06	BST 500 S	16	2,16	4	14	56	120,96	21	-1	-1	800	300	800				130	
Beam 2	07	BST 500 S	20	3,32	3	21	63	209,16	25	2	2	800	1 000	800	740	775		360	
Beam 3	08	BST 500 S	28	3,14	3	6	18	56,52	26	1	1	700	700	1 200	500			270	
Beam 4	09	BST 500 S	12	2,40	1	13	13	31,20	31	1	1	800	550	400	450			100	
Beam 5	10	BST 500 S	10	3,24	1	26	26	84,24	41	1	1	1 280	700	500	300	300		80	
Foundation slab 1	11	BST 500 S	12	1,80	2	300	600	1 080,00	44	1	1	200	450	300	450	200		100	
Foundation slab 1	12	BST 500 S	28	4,96	2	12	24	119,04	46	1	1	1 000	710	800	500	1 200		270	

Tabell 2 - Eksempel på bøyeliste etter tabell 6 i NS-EN ISO:3766

Tabell 2 inneholder en veldig detaljert liste, mens tabell 3 gir et bedre bilde på hvordan de forskjellige bøyeformene visualiseres med gitte dimensjoner. Derfor kan det ofte lønne seg å gå for en løsning som i tabell 3, slik at geometrien til jernet kan forestilles før produksjon.

Member	Bar mark	Type of steel	Bar diameter mm	Length of each bar (Method A) m	Number of members	Number of bars in each member	Total number	Total length m	Shape code (Optional)	Bending shape with dimensions	Index
Slab 1	01	BST 500 S	28	3,60	1	10	10	36,00	00		
Slab 2	02	BST 500 S	28	3,94	1	20	20	78,80	11		
Corbel	04	BST 500 S	16	3,27	5	3	15	49,05	13		
Wall	05	BST 500 S	28	6,34	2	4	8	50,72	15		
Beam 1	06	BST 500 S	16	2,16	4	14	56	120,96	21		
Floor slab	14	BST 500 S	20	1,80	1	300	300	540,00			
Support pillar	17	BST 500 S	10	2,26	5	19	95	214,70			

Tabell 3 - Eksempel på bøyeliste etter tabell 7 i NS-EN ISO:3766

Det viktigste å huske på ved overføring av bøyelister direkte fra modell, er at alle armeringsjernene må bli definert med korrekt formkode i henhold til NS-EN ISO:3766. Hvis IFC-filen som er eksportert fra modelleringsverktøyet er beriket med korrekt informasjon og formkoder skal det i prinsippet kunne hente inn den samme informasjonen i modellen som i en BVBS-fil. I tilfeller hvor armeringsjern ikke er tilegnet en gyldig formkode, vil ikke BVBS-filen kunne hente inn armeringsjernet i bøyelisten og den vil bli navngitt formkode "99". Formkode "99" er fullt mulig å bruke for armeringsjern som ikke tilhører noen eksisterende formkoder. Selv om ikke alle programvarer kan hente inn jernene, kan som regel produksjonssystemene lese formene. Det er viktig at disse blir manuelt kvalitetsjekk for å kontrollere at jernene faktisk skal ha denne formen. Det er mulig å endre formkode til den som er mest lik i følge standarden. De fleste armeringsprodusenter har ulike systemer, men det blir mer og mer vanlig å tilpasse sine systemer til å produsere automatisk ved bruk av standard formkoder. Det er i tillegg mulig å manuelt produsere spesialjern med ikke definerte formkoder og dimensjoner.

Utfordringen med BVBS formatet er at det kan være vanskelig å kontrollere hva som blir sendt til bestilling. Det er mulig å kontrollere alle strengene med armering manuelt, men dette vil kreve mye arbeid. Derfor er det viktig å ha kvalitetssikring i leddet før det blir eksportert til BVBS-formatet. Et annet problem som kan oppstå er at BVBS ikke har funksjoner for å håndtere

revisjoner. Det kan derfor oppstå problemer i tilfeller hvor det er gjort endringer i ett prosjekt, og ikke oppdatert nye *BVBS*-filer for endringen. Det kan være en fordel å sortere *BVBS*-filer etter støpetapper, for å holde kontroll på hvilke armeringsjern som er produsert. Eller bruke definerte filnavn for de ulike revisjonene.

2.8.2 Digitale armeringssystemer hos norske stålprodusenter

Flere av de største stålprodusentene har de siste årene fått systemer som støtter digitale produksjon av armering. Digitaliseringen kan gjøre det mulig å bli helt kvitt bøyelister. Det vil si at RIB ikke lenger har behov for å produsere bøyelister av armeringsjern som produksjonsgrunnlag for armeringsprodusenten. Grunnen til dette er at produksjonssystemet hos armeringsprodusent kan produsere bøyelister via *BVBS*-formatet av modellen. Denne utviklingen kan også være med på å gjøre jobben til RIB mer tidsbesparende, men det brukes enda manuelt produserte bøyelister for kvalitetssikring. Løsningen for kvalitetssikring er fortsatt under utvikling, og de manuelle bøyelistene er enkle å bruke for å kontrollere hvilke jern som skal produseres. Det er opp til hvert enkelt firma å bestemme hvordan de ønsker å mota produksjonsgrunnlaget. Mange går for de standard bøyelistene via *Excel* eller *PDF*, men noen ønsker å bruke *BVBS*- og *IFC*-filer av modell. Videre beskrives armeringssystemer hos noen norske armeringsprodusenter.

2.8.2.1 Kamstål AS

Kamstål AS har siden oppstarten i Stavanger tilbudt digital armering til sine kunder. De har helt nye automatiske maskiner som kan produsere armering direkte fra bøyelister. De ønsker å være markedsledende innen 3D og digitale løsninger både på ordrehåndtering og maskinprogrammering (*Kamstål AS*, u.å.).

2.8.2.2 Smith Stål

Smith stål skriver følgende om sitt system:

"Vi produserer direkte fra elektroniske formater (*DAK*) som innebærer automatisk overføring til vårt ordresystem. Vårt mål med denne elektroniske bøyelisten er å forenkle og redusere ledetidene slik at alle aktører oppnår reduserte kostnader". I tillegg beskriver de fordelene med elektroniske bøyelister som følgende (*Smith Stål*, u.å.)

- Kortere ledetider som kan påvirke leveringstiden og øker servicegraden
- Unngår feil-punching og rett levering 1. gang
- Reduserer mulighet for feilleveranser og forsinkelser på byggeplassen.
- Samme listen i hele verdikjeden fra konsulent til utførende.
- Vår oppfordring er derfor at våre kunder videreformidler denne elektroniske bøyelisten til sine konsulenter og oppfordrer dem til å benytte denne ved produksjon av bøyelister. Bruken av listen (*Excel*) er meget enkel, men trenger dere hjelp står vi selvsagt til disposisjon.

2.8.2.3 Norsk Stål

Norsk Stål beskriver sitt system slik:

"Norsk Stål har den siste tiden jobbet med å få på plass et system for å kunne motta bøyelister via BIM og kunne behandle disse direkte i vårt Kapp & Bøy-program. Vi har over lengre tid vært klare til å motta lister via BIM, men vi har nå tatt dette et skritt videre! Nå er vi klare til å importere bøyelister direkte inn i vårt «Kapp & Bøy»-program. Det er viktig at det benyttes formkoder og krokbeskrivelser er i henhold til Norsk Standard NS-EN 3766" (Norsk Stål, u.å.).

2.9 Kvalitetssikring og kontroll av prosjekt

En overgang til tegningsfrie prosjekter vil kreve ekstra sikkerhet til både kontroll og kvalitetssikring av modell hos prosjekterende. Det er også viktig at de på byggeplass har mulighet til å kunne kvalitetssikre det som leveres og produseres på byggeplass. Grunnen til at noe alltid skal kontrolleres er for å avdekke feil eller misforståelser. Feil kan oppstå i forskjellige prosesser, men oftest kommer disse fra manglende kvalifikasjon og kunnskap. Kontrollpunktene består oftest av sjekklister for både prosjekterende og utførende på byggeplassen. I prosjekter er det flere involverte og det er derfor viktig å avtale hvem som foretar kontrollene og hvilken erfaring de valgte skal ha, slik at forskjellige firma og aktører blir enige om dette i kontrakten. Da er det spesielt viktig å holde styr på alle kontrollene, slik at disse kan dokumenteres og spores. En god standard for sporbarhet er at utførte kontroller skal kunne dokumenteres mellom partene, gjerne ved bruk av et samhandlingsverktøy. I disse samhandlingsverktøyene er det mulig å holde kontroll over ulike saker som oppstår i prosjekteringen og diskutere eventuelle løsninger (Nørve, 2005).

2.9.1 Kontrollvarianter

Det finnes flere måter å gjennomføre kontroll av modell. Alle modeller og tegninger som produseres av rådgivende ingeniør skal alltid kontrolleres av en annen i prosjektet eller en ekstern aktør før godkjenning. Videre presenteres de vanligste kontrolltypene og hva som skal sjekkes under hver kontrollvariant. I Sweco er det alltid obligatorisk med egenkontroll, sidemannskontroll og godkjenning før avlevering.

2.9.1.1 Egenkontroll

Egenkontroll betyr kontroll av eget arbeid. Grunnen til at dette gjennomføres er for å sjekke at det som er produsert har blitt gjort etter avtalte krav til produktet. Kontrollen blir gjort etter standarder eller tilpassede sjekklister til det gitte oppdraget. Sjekkpunktene som oftest må bli gjennomgått av prosjekterende ingeniør på armering, er beregning for overdekning, lengder på armering og senteravstand på armering. Andre sjekkpunkter må også sjekkes på betong, stål eller andre materialer. Det som sjekkes er beregninger på last og bærende enheter. Punktene som er gjennomgått under egenkontroll må alltid dokumenteres (Nørve, 2005).

2.9.1.2 Sidemannskontroll

En sidemannskontroll er en ekstra kontroll som blir foretatt av en kvalifisert person, utvalgt av prosjektleder. Sidemannskontroll har som mål å sjekke de samme kontrollpunktene som ble gjennomgått i sjekklisten under egenkontrollen. Dette er for å sjekke at produktet har oppnådd gitte krav. Sidemannskontroll blir gjort som en ekstra trygghet for å sjekke det som ble gjort under egenkontroll. Sidemannskontrollen må også dokumenteres (Nørve, 2005).

2.9.1.3 Godkjenning

Det siste punktet som kommer etter sidemannskontroll er godkjenning. Selve godkjenningen skjer via en sluttkontroll, som bekrefter at alle planlagte kontroller er gjennomført. Godkjenningen er en bekreftelse på at kontrollene er sporbare, signerte, daterte og gjør at produktet er klart for avlevering. Det gjøres ofte stikkprøver av sluttproduktet, noe som blir gjort av prosjektleder eller disiplinleder (Nørve, 2005).

2.9.2 Kontroll av tegningsfrie prosjekter

Ved en overgang til tegningsfrie prosjekter vil det bli enda viktigere med nøyaktige kontroller, da de konvensjonelle 2D-tegningene av bygningsdeler nå blir byttet ut med kun modell. Tegningsfrie prosjekter krever derfor enda høyere krav til informasjonsmengden i modellen. Informasjonsmengden som lengder og opplysninger i modellen må være kontrollerte og korrekte før den sendes ut på byggeplassen, da dette blir det gjeldende arbeidsunderlaget.

Det finnes per i dag ikke noe standard for hvordan tegningsfrie prosjekter skal kontrolleres. Utfordringen blir derfor for hvert firma å opprette egne sjekklister og rutiner for egenkontroll og sidemannskontroll av prosjektmodellen. Dette er et av punktene denne oppgaven vil ta opp i vurdering. Oppgaven vil foreslå én egendefinert sjekkliste til bruk i tegningsfrie prosjekter for *Sweco*.

2.10 MMI - Modell Modenhets Indeks

Modell Modenhets Indeks, fra nå av kalt MMI beskriver modenhetsgraden av objekter i BIM-modellen. Ved hjelp av farge- og tallkoder vil brukerne få en indikasjon på hvor moden en BIM-modell er. Modenheten kommer an på både geometrien og informasjonsgrunnlaget i modellen. MMI har blitt innført for å støtte opp rundt usikkerheten omkring forkortelsen LOD. LOD som betyr "Level Of Development" eller "Level Of Detail" har også flere tilnærmede like forkortelser. MMI blir på en annen måte brukt som en kommunikasjonsmetode mellom de involverte i et prosjekt. De forskjellige BIM-modellene som skal produseres er oftest; bærende modell (RIB), elektrisk modell (RIE), VVS modell (RIV), arkitektmodell (ARK) og Landskapsmodell (LARK). MMI bestemmes etter hvor langt byggeprosessen i prosjektet er kommet, og hvilket informasjoninnhold som skal være i modellen til en gitt tid. Hvis det kan planlegges hvilken modell som skal nå en viss grad av MMI etter gitt tid er det mulig å få bedre kontroll over

prosjekteringsforløpet. I figuren under presenteres ett eksempel på hvilke steg som hører til hver MMI klasse (RIF, u.å.).



Figur 13 - Oppbygging av MMI-klasser (RIF, u.å.)

Under MMI 100 er det ønskelig at det er produsert en skisse, MMI 200 skal ha produsert ferdig skisse, mens for MMI 300 skal modellen være klar til tverrfaglig kontroll. Tverrfaglig kontroll betyr at modellen skal være klar til sjekk for valgte krav. Oftest skjer den tverrfaglige kontrollen i *Solibri Model Checker*. Når denne kontrollen er gjennomført har modellen nådd modenhetsgraden MMI 350. Etter at modellen er sjekket og godkjent har den nådd MMI 400 og da er bygget klar til å bygges. MMI 500 er siste punkt og sier at modellen er ferdig bygget. Det er opp til de prosjekterende hvordan de ønsker å bruke MMI-klassene. Det enkleste er kanskje å bruke MMI koder via fargekoding og partisjoner av elementer. Det må også bestemmes hvilke informasjonsgrunnlag som skal høre til hver grad av MMI, men Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) har laget et forslag til hva som hører til hvilken grad av MMI. I delkapittelet under beskrives det hva som er anbefalt modningsgrad til hver MMI klasse.

2.10.1 Grad av MMI

Under konkretiseres anbefalt MMI klassifisering gjort av RIF i samarbeid med *Arkitektbedriftene* og *Entreprenørforeningen Bygg og Anlegg* (EBA).

- **MMI 100: Skisse**

Proessen frem mot MMI 100 innebærer å etablere ett eller flere forslag til løsning. Objekter ved MMI 100 er å anse som et skisseforslag. Dette innebærer at det kan være modellert flere alternative forslag til løsninger og at det kan skje større endringer i design på kort tid. I prosessen frem mot MMI 200 velges løsninger og konsepter.

- **MMI 200: Ferdig konsept**

Objektene er å anse som gjennomarbeidet med tanke på design av konseptuell løsning. Det forutsettes at det ikke forekommer større endringer i konseptene som påvirker andre fag etter MMI 200.

- **MMI 300: Klar for tverrfaglig kontroll**

Ved MMI 300 skal objektene være koordinerte innen enkeltdisipliners modeller. Objekter relevant for tverrfaglig koordinering skal være modellert og ikke være i konflikt med andre objekter i samme disiplin. Objektene skal ha riktig størrelse og plassering.

- **MMI 350: Utført tverrfaglig koordinering**

Ved oppnådd MMI 350 skal objektene være tverrfaglig koordinert med hensyn til alle objekter i tilgrensende disipliner. Tverrfaglig koordinering vil ofte være en iterativ prosess, først ved slutført koordinering mellom alle tilgrensende disipliner oppnår objektene denne statusen.

- **MMI 400: Produksjonsunderlag**

Status som produksjonsunderlag forutsetter at objektene er kontrollert og godkjent for bygging. Eventuelle konflikter eller innspill til endring av design sendes til prosjekterende disipliner for gjennomgang. Ved utsjekk av alle tilbakemeldinger, er objektet klar for produksjon, MMI 400.

- **MMI 500: Som bygget**

Avhengig av krav til «som bygget»-dokumentasjon oppdateres modellene i henhold til denne statusen av de prosjekterende.

Eventuell etablering av MMI-verdier mellom de definerte hovedverdiene bør vurderes av det enkelte prosjekt.

2.10.2 MMI i prosjektplanleggingen

MMI kan brukes til å planlegge utviklingen i prosjekter. For at det skal være hensiktsmessig er det viktig å avklare hvilken modenhet som er ønsket å oppnå i definerte områder eller soner til en gitt tid. Det kan da være hensiktsmessig å sette opp en plan slik at disse definerte geometriske sonene kan bli benyttet i kollisjons-kontroll underveis i prosjektet. Dette gjør at det blir enklere å planlegge BIM-leveransen med lik modenhetsgrad i samme soner til samme tid. I tillegg til enklere planlegging kan dette gi bedre kvalitet på tverrfaglig kontroll og spare inn tid på sammensetting av modeller (RIF, u.å.).

I prosjekter er det nødvendigvis ikke slik at alle modeller skal ferdigstilles samtidig, derfor er det lurt å sette opp kontroller etter soner og modenhet. I figur 14 fremstilles en MMI-plan over flere uker. Her er det satt opp grad av MMI etter ukenummer til de forskjellige modellene.

Ukenr.	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Milepæler											MMi 300		MMi 350		MMi 400	
Entreprenør																
Arkitekt																
RIB																
RIV																
RIE																
BIM																

Figur 14 - Eksempel på prosjektfremdrift med MMI (RIF, u.å.)

Ved å følge forslaget over er det mulig å sette opp en plan over leveranser av modell etter MMI-grad. Den øverste kolonnen kalles for "Milepæler" og denne har definerte ukenummer når alle modellene skal nå MMI 300, MMI 350 og MMI 400. Denne listen er ikke komplett, men viser hvordan MMI-graden endrer seg fra uke 10 til uke 25 i ett prosjekt. Selve tanken til dette oppsettet er å få en bedre oversikt over når det er forventet at hver involvert skal levere modell til sitt fag. Den første som skal levere MMI 300 er RIB. Uken etter er det arkitektmodell, deretter RIV og RIE i de følgende ukene. I uke 20 er det satt opp et mål om at alle fag har levert sin modell etter krav fra MMI 300. To uker senere skal alle levere sin modell til tverrfaglig kontroll. Dette gir en tidlig klarhet i hva som forventes av de involverte til enhver tid.

I figur 15 illustreres det hva som er forventet informasjonsgrunnlag for de ulike modellen. Her beskrives krav til informasjonsgrunnlaget i modellene etter kollisjonskontroll av grunn og fundament. Det gir også en indikasjon på hva som er ønskelig detaljnivå for de forskjellige fagene ved MMI 350.

Fagmodeller	Objekter	MMI
RIG	Spreng- graveplan i 3d	350
RIB	U1: Fundamenter, vegger, gulv på grunn	350
RIV	Bunnledninger	350
RIE	Kabler i grunn	350

Figur 15 - MMI 350 i forskjellige fagmodeller (RIF, u.å.)

3. Metode

3.1 Anvendt Metode

Det er valgt å bruke en kvalitativ metode for denne masteroppgaven. Kvalitativ metode er en forskningsmetode som går ut på å analysere sammenhenger i prosesser. Metoden er med på å utvikle nye teorier og hypoteser rundt temaet som blir tatt opp i oppgaven. I neste omgang kan det utprøves i kvantitative studier, for å definere innhenting av tall og verdier (Malt, 2015). I kvalitativ forskningsmetode samles ofte data inn ved bruk av observasjon, intervju og analyse av informasjon. Det er ofte mange spørsmål fordelt på få informanter i en kvalitativ metode. Det gjør at det er viktig å analysere ordene og handlingene til informantene for å få et dybdeperspektiv av dem. Forskeren i denne metoden har ofte direkte kontakt med informantene. Ett annet kjennetegn med denne forskningsmetoden er at problemstillingen gjerne endres og presiseres underveis (Andersen, 2019).

Målet ved bruk av denne metoden er å få en bedre forståelse av hva tegningsfrie prosjekter og digital armering kan bidra med hos de involverte. Oppgaven vil ta for seg relativt nye metoder for gjennomføring av prosjekt, og vil derfor baseres på innhenting av informasjon fra nettsider, i tillegg til erfaring og samtaler med relevante fagpersoner hos *Sweco* og *Kamstål AS*.

3.1.1 Teori

Informasjonen til teoridelen er hentet fra anerkjente og pålitelige nettsider. På grunn av utviklingen rundt BIM og digital armering har informasjon og programvare en tendens til å raskt bli utdatert. Derfor er det prøvd å hente inn den nyeste informasjon tilgjengelig.

3.1.2 BIM-prosjekteringen

Det er utført en analyse av armeringsprosessen til *Sweco* for å kartlegge hvordan forholdet mellom RIB, entreprenør og armeringsprodusent har innvirkning på prosessene. Hensikten er at det skal opparbeides tilstrekkelig med praktisk kunnskap til å kunne peke ut flaskehalsen i armeringsprosessen og finne ut hvorfor entreprenøren fortsatt ønsker 2D-tegninger, når det modelleres i 3D.

3.1.3 Case-studie

Case-studie brukes for å studere en eller flere caser over lengre tid. En case beskriver et fenomen, og er med på å skape en dypere forståelse og innsikt. Dette kan være gjennom datainnsamling og ved hjelp av kvalitativ data, som for eksempel observasjoner og åpne intervjuer (Sander, 2017). I denne oppgaven er det valgt å fokusere på to caser; *SUS2023* og *Ledaal Park Niels Juel*.

3.1.3.1 SUS2023

SUS2023 er navnet på prosjektet for det nye sykehuset som skal bygges på Ullandhaug, like ved Universitetet i Stavanger. Første byggetrinn skal stå ferdig i 2023. Da flyttes alle senger, akuttfunksjoner og nødvendige støttefunksjoner fra dagens sykehus til sykehuset på Ullandhaug. Tomten til det nye sykehuset har et område på cirka 100 000 kvadratmeter, noe som tilsvarer over 14 store fotballbaner. Tallene fra 2017 sier at den totale kostnadsrammen for SUS2023 er på omtrent 8,4 milliarder kroner. Justeres disse tallene for inflasjon frem til 2023, kommer totalen opp i cirka 9,3 milliarder kroner. Allerede innen utgangen av 2018 hadde det blitt inngått kontrakter for rundt 1,3 milliarder kroner, og forpliktelser for 2,7 milliarder knyttet til SUS2023 (Helse Stavanger, u.å.).

Den overordnede strategien for de enkelte kontraktsområdene til SUS2023 består av en samspillsentreprise for prefabrikkerte elementer som bæresystem og fasader. Det ble i tillegg satset på en BVP (Best Value Procurement)- totalentreprise for parkeringshus, rigg og drift. Flere sidestilte byggherrestyrte entrepriser med mulighet for tiltransport av enkelte utstyrsentrepriser. Prosjektet startet med opparbeidelse av infrastrukturen for tilkomst og klargjøring av tomten. Dette omfattet ett stort overvannshåndteringsprosjekt, og etablering av tilkomst- og anleggsveier. I tillegg til fremføring av strøm, vann og avløp. Parkeringshuset for ansatte er også et av de tidligste delprosjektene som ble satt i gang for å kunne benyttes som rigg og/eller produksjonslokaler for byggefasen. SUS2023 består av flere bygg; fire av byggene er planlagt med standardiserte bæresystemer og fasadeelementer, mens ett av byggene har en annen oppbygning for å kunne tåle større belastning av tyngre medisinsk utstyr (Helse Stavanger, u.å.). I figur 16 og 17 presenteres bilder av tomten slik den ser ut per i dag, og hvordan den etter planen skal fremstilles i 2023.



Figur 16 - Bilde av tomten til SUS2023 per våren 2019 (Helse Stavanger, u.å.)



Figur 17 - Prospekt til SUS2023 ved ferdigstilling (Helse Stavanger, u.å.)

SUS2023 har store ambisjoner om å ha høy digital standard for hele prosjektet. Derfor skal de bruke digitale gjennomføringsverktøy sammen med bruk av BIM. Tegningsfri prosjektering skal bli brukt aktivt fra prosjektering til tegningsproduksjon. Grunnen til dette er for å gi bedre forståelse, innsyn, prosjektering, koordinering, rapportering, kommunikasjon og kvalitetssikring. BIM er med på å spare tid, gi bedre kvalitet og vil derfor gi lavere kostnader i både prosjektering- og utførelsesfasen. *SUS2023* har et mål om at BIM skal være det digitale informasjonsgrunnlaget mellom de involverte; byggherre, prosjekterende, entreprenør og driftsorganisasjon. *SUS2023* har også krav til opplæring og bruk av BIM verktøy, som forskjellige BIM programvarer, BIM-kiosker og håndholdte enheter som skal bruke på byggeplass (Helse Stavanger, u.å.).

3.1.3.2 Ledaal Park Niels Juel

Ledaal Park er et boligprosjekt som består av to delprosjekter. Disse boligprosjektene har beliggenhet på hver sin side av *Hermetikklaboratorier* på Eiganes i Stavanger. *Ledaal Park* består av rehabiliteringsprosjektet *Ledaal Park Alexander* og nybygget *Ledaal Park Niels Juel*. Totalt kommer det 36 leiligheter fordelt på de to byggene. *Ledaal Park Niels Juel* er under bygging og skal bestå av 14 leiligheter med størrelser fra ca. 34 til ca. 228 m² (*Ledaal park*, u.å.). Figur 18 illustrer hvordan prospektet til *Ledaal Park* skal fremstå.



Figur 18 - Prospekt til ferdigstilling av Ledaal Park (Ledaal Park, u.å.)

3.1.4 Reliabilitet

Reliabilitet betyr hvor konsistent eller stabile målinger er. Det betyr at høy reliabilitet skal gi tilnærmet samme resultat dersom samme undersøkelse gjøres igjen (Svartdal, 2018). Oppgaven bygger på relativt ny informasjon og forskning. Det er foretatt intervjuer med fagansvarlig fra *Sweco* og *Kamstål AS* for innhenting av relevant informasjon. Gjentatt forskning innenfor dette fagfeltet kan resultere i varierende resultater. Resultatene i denne oppgaven bygger på informasjon basert på eksisterende informasjon fra nettsider og personer innenfor få firma. Dette tilsier at resultatene kan variere ved gjennomførelse av tilsvarende problemstilling i andre firma og ved kontakt med andre personer. I tillegg til informasjon fra nettsider har teorien blitt basert på egne erfaringer. I oppgaven er det også foretatt grundige analyser av de involvertes arbeidsmetodikk i ulike faser.

3.1.5 Validitet

Validitet betyr gyldighet, og sier noe om i hvilken grad det er mulig å trekke gyldige beslutninger ut i fra resultatene gjort i studiet eller forsøket. Det finnes to typer validitet, indre og ytre validitet. Den indre validiteten brukes for det relevansen og gyldigheten som måles ut fra antatt hypotese. Det vil si at høy indre validitet samsvarer med at problemstilling gir svar uten for mange feilkilder.

Ytre validitet brukes om generalisering av forsøket eller studiet. Det vil si at det kan ha betydning for andre situasjoner enn det som ble undersøkt (Dahlum, 2018). Oppgavens indre validitet fremstår som relativt høy, da den svarer på problemstillingen. Problemstillingen gir svar på spørsmål som har høy relevans og gyldighet i markedet i dag, samt at det baseres på prosjekter som er utført. Den ytre validiteten kan ha en form for generalisering for byggebransjen. Oppgaven bygger på to caser som er uavhengige av hverandre noe som er med på å styrke konklusjonen og resultatene. Flere av funnene i resultatdelen stemmer overens med teoridelen, noe som igjen viser at funnene kan være generaliserbare for større deler av byggebransjen.

3.1.6 Feilkilder

Feilkilder brukes om informasjon og andre parametere som kan ha feil innvirkning på sluttresultatet. Denne oppgaven baseres på informasjon som er hentet inn ved hjelp av observasjon og erfaringen i møter og spørsmålsrunder med relevante fagpersoner fra både prosjekterende og utførende aktører. Det er nøye vurdert bruk av informasjon fra nettsider. Oppgaven er kildekritisk og det er kun brukt ny og pålitelig informasjon. Det er alltid rom for feilkilder, som tidligere nevnt er innholdet basert på observasjoner og erfaringer fra prosjekter i få firma, noe som ikke alltid samsvarer med opplevelsen hos andre firma. Det kan forekomme misforståelser, særlig i en spørsmål- og svarrunde. Det hender at spørsmål ikke kommer fra et nøytralt ståsted og at dette vil kunne påvirke svarene.

4. Resultater

4.1 Krav til informasjon i BIM-modellen

Når BIM-modeller skal prosjekteres er det mye informasjon som må legges inn manuelt i modellen. For at tegningsfrie prosjekter skal fungere er det viktig at all informasjonen som blir lagt inn er korrekt eller har en form for kontrollerbarhet. Det er veldig viktig at lengder, dimensjoner og antallet på armeringen stemmer. Det er RIB sitt ansvar for at modellen blir beriket med korrekt informasjon, uten at modellen blir for avansert og omfattende. Modellen må oppfylle alle krav slik at den kan brukes i senere faser i prosjektet. Modellene som produseres skal ikke bare brukes av RIB, men også entreprenører eller andre involverte i prosjektet. Det er derfor viktig å ikke gjøre modellene for produktspesifikke.

De neste delkapitlene tar for seg parametere som er nødvendige for å oppretthold effektive tegningsfri prosjekter. Parameterne er knyttet opp til funksjoner som finnes i BIM-programvarer. I dette tilfellet er det valgt å fokusere på konkrete funksjoner ved bruk av *Revit* og *Naviate*. Parameterne baseres på innhentet teori, erfaring i kontakt med relevante fagpersoner og bruk av programvarer.

4.1.1 Startnummer og prefiks

Startnummer og prefiks er funksjoner som gjør det mulig å tildele bygningsdeler etter støpetapper eller type element. Det vil si at det er mulig å holde kontroll på de forskjellige elementene som vegger, søyler, bjelker, dekker og lignende ved bruk av tall- og bokstavkoder. Startnummer og prefiks er en måte å knytte for eksempel armering til de ulike elementene. Ved å knytte ulike elementer opp mot støpetapper er det enklere å holde kontroll over bestilling og produksjon.

I *Revit* og *Naviate* er det mulig å bruke funksjonen "Rebar numbering" som kan tildele armering etter partisjoner. Partisjoner er navn på bygningselementer, og ved hjelp av bokstavkoder for prefiks og tallkoder for startnummer kan dette settes i system. Dekker får for eksempel forkortelsen "DA", noe som betyr at prefiksen gjelder dekke "A". Bokstavkoden "A" brukes som en indeks for å holde kontroll på de ulike dekkene. Det samme gjelder andre bygningselementer. Fundament blir kalt for "FA", mens "SA" står for søylegruppe "A". Etter bygningselementene har fått tildelt prefiks, berikes de med ett startnummer. Det er vilkårlig hvilket navn og tall som brukes på prefiks og startnummer, så lenge det er en felles forståelse mellom prosjekterende og utførende. Ett typisk startnummer kan for eksempel være "11". Det vil da si at partisjonen "Dekke" får koden "DA11". Dette står for prefiks "DA" og startnummer "11". I nummereringssystemet er det mulig å kjøre analyser for å sjekke om det har blitt gjort endringer eller for å få oversikt over formkoder og diameter på de ulike partisjonene. Figur 19 presenterer hvordan analysefunksjonen fungerer i dette systemet. Ved hjelp av analysefunksjonen kan modellene sjekkes opp mot

endringer og revisjoner. I tillegg er det mulig å holde kontroll på hvem og når det har blitt foretatt analyser, nummereringer og eksport av filer. I rutene hvor det dukker opp en rødfarge er det foretatt endring i modellen. Det er derfor enkelt å kontrollere hvilke partisjoner denne endringen er foretatt på. Endringer på armering er ofte knyttet til tilpasning av lengder og dimensjoner.

Rebar Numbering

Partition
 From Filter Settings:
 Select Filter Settings
 Keep existing numbers
 Do not reuse used numbers

Partition	Prefix	Start Number	Analyzed	Numbered	Exported	#Elements(Groups)
Dekke	DA	11	2018-03-09 10:19	2018-03-09 10:19		375 (9)
Dekke-LM	LM	11	2018-03-09 10:19	2018-03-09 10:19		1 (1)
Fundament	FA	11	2018-03-09 10:19	2018-03-08 13:05		160 (1)
Søyle	SA	11	2018-03-09 10:19	2018-03-08 13:05		182 (5)

Element(s) is added, removed or changed. Rebar(s) needs a new Revision.

Nytt Numm	Nummer	Antall	Form kode	Diameter	Kapp.L	Sum	a	b	c	d	e	f	R	h	Krok1	Krok2	Ny Endring	Endring
DA11	DA11	20	0	12	2375		2375											
DA12	DA12	20	0	12	7965		7965											
DA13	DA13	104	0	12	5370		5370											
DA14	DA14	22	0	12	1725		1725											
DA15	DA15	22	0	12	1770		1770											
DA16	DA19...	39	21	16	1375		600	240	600									
DA17	DA17	1	21	16	1325		570	240	570									
DA18	DA18	136	21	16	1345		600	210	600									
DA19	DA19	11	21	16	1775		800	240	800									

Close

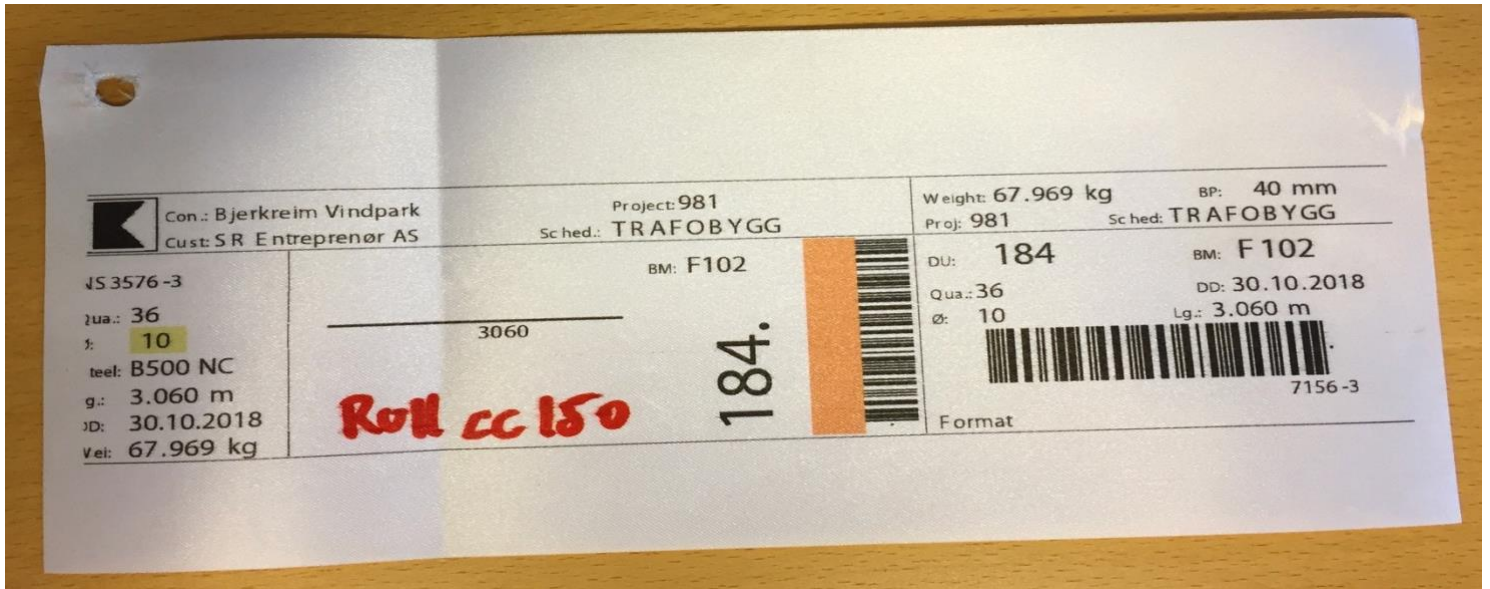
Figur 19 - Startnummer og prefiks i Revit med Naviate

4.1.2 Fargekoder

3D-modeller består av mange elementer, og det kan være vanskelig å få øye på alle armeringsjernene i modellen. Derfor er det viktig å skille de ulike armeringsjernene som tilhører forskjellige elementer fra hverandre. En god måte å gjøre dette på, er å dele armeringen etter elementene inn i forskjellige fargekoder. Det er opp til RIB og bestemme fargevalget på de forskjellige elementene, men det bør gjøres i samsvar med armeringsprodusent. Det er viktig å bli enig om felles fargekoder fordi armeringsjernene som er ferdig produsert får en merkelapp med fargekode i samsvar med fargekoden i modellen. I tillegg kommer denne merkelappen med informasjon om form, vekt og posisjonsnummer. Det blir enklere for arbeiderne på byggeplassen å legge armeringen etter fargekoder, hvis den stemmer med BIM-modellen. Fargekoder kan enkelt fastsettes ved hjelp av "Color elements" funksjonen i *Naviate*. Da kan modellen kategoriseres med farger etter diameter på jernene eller hvilke element jernene tilhører.

Kamstål AS leverer merkelapper på armeringen som skal til byggeplass. Her finnes informasjon om armeringen i leveransen. Det gjør at arbeiderne på byggeplass enkelt kan kontrollere og

kvalitetssikre at de har mottatt riktig armering. I tillegg til at det er mulig å sjekke informasjonen opp mot en fargekode som er definert i prosjektet. I bildet under finnes én "oransje" kolonne ved siden av strekkoden i midten av figuren. Denne fargekoden benyttes i prosjekter hvor det er forhåndsdefinerte klassifiseringer. Arbeiderene på byggeplass kan ved få klikk i BIM-modellen finne ut hvor i bygget denne fargen er knyttet opp mot.



Figur 20 - Armerings-merkelapp produsert av Kamstål AS

4.1.3 Leggeplan

Å dele binding av armering inn i seksjoner er en metode for å produsere enkle og oversiktlige leggeplaner for de som skal montere armeringen. Det kan produseres i for eksempel *Solibri* og består av flere bilder som viser hvordan armeringen skal bygges opp til det ferdige produktet. Hensikten med dette er å gjøre monteringen enklere og mer oversiktlig. I tillegg til at tiden det tar å produsere disse leggeplanene blir tatt igjen når armeringen skal monteres. Det er ikke nødvendig å produsere leggeplaner for all armering. Det viktigste er bruk av leggeplaner for de delene og elementene i bygget hvor det kan være vanskelig for RIB å forklare entreprenør hvordan leggingen skal foregå. Monteringsrekkefølgende kan ved behov lages i video-presentasjoner som viser animasjoner av hvordan monteringen skal gjøres.

4.1.4 Revisjonshåndtering

Det er veldig viktig å holde kontroll på revisjoner av modellen og bøyelister. Det vil alltid forekomme endringer på ett prosjekt, noe som fører til at det må produseres nye revisjon av enkelte bygningsdeler eller armering. Det er mange forskjellige måter å håndtere revisjoner på, og det handler hovedsakelig om god kommunikasjon mellom de involverte. RIB bør alltid oppdatere entreprenør med ett endrings skjema, hvis det er foretatt en revisjon. Det finnes forskjellige måter å spore endringer og revisjoner i en modell, men det viktigste er å ha en felles forståelse over hvem som har ansvar ved bestillinger. Bestillinger av bøyelister til armering kan

gjøres via *Excel*, *PDF*, *BVBS* og *IFC*. Da er det viktig å avtale hvem som har ansvar for å følge med på og kontrollere revisjonene i de forskjellige tilfellene.

I de fleste webhotell eller samhandlingsplattformene som brukes av RIB, entreprenør og armeringsprodusent finnes det funksjoner som alltid fronter med siste utgave av modellen. Det vil si at tidligere modeller også er tilgjengelige, men at den siste revisjonen alltid vil være den første som dukker opp. Det er en god måte på å holde rede på hva som er nyeste modell. Det kan være små eller store endringer mellom revisjonene, og det er derfor viktig at det alltid legges ved en endringsliste. Det gjør at endringen kan spores og deretter oppdateres i bestillingsplanen. En annen metode som brukes for å enkelt holde styr på revisjoner er å navngi filer med revisjonsnummer. For eksempel kan en navngi første innsending av bøyelister med prefiks og hvilken revisjon det gjelder. Ofte brukes "rev0" om den aller første revisjonen. Hvis det nå skjer endringer i prosjektet kan neste fil oppdateres med navnet "rev1" til neste innsending. Da kan de prosjekterende enkelt finne ut hvilken del av bygget dette gjelder, i tillegg til å vite hvilken revisjon det tilhører uten å måtte bruke tid på å sammenligne modellene.

4.1.5 Prosesstatus

For å få en effektiv fremgang i prosjekter er det viktig å ha kontroll over status på produksjon og ferdigstilling på bygningselementer. Det er RIB i samarbeid med entreprenør som må bli enige om hvor mange statusparametere som er ønskelig å ha med i modellen. Det finnes ikke standarder på bruk av prosessstatus underveis i prosjekter, derfor er det viktig å ha forhåndsdefinerte statusparametere. Ofte stanser fremdriften opp på grunn av dårlig kommunikasjon mellom aktørene. Bruk av prosessstatus er den metoden som skal være med på å bedre kommunikasjonen mellom aktørene. Det er forskjellige måter å sette opp status på leveranser, produksjon og modellering. Oppdatere status med fargekoder er et godt eksempel på noe som blir mer og mer brukt. Det finnes også mulighet for å sette opp klassifiseringer for statusparametere etter MMI eller prefiks.

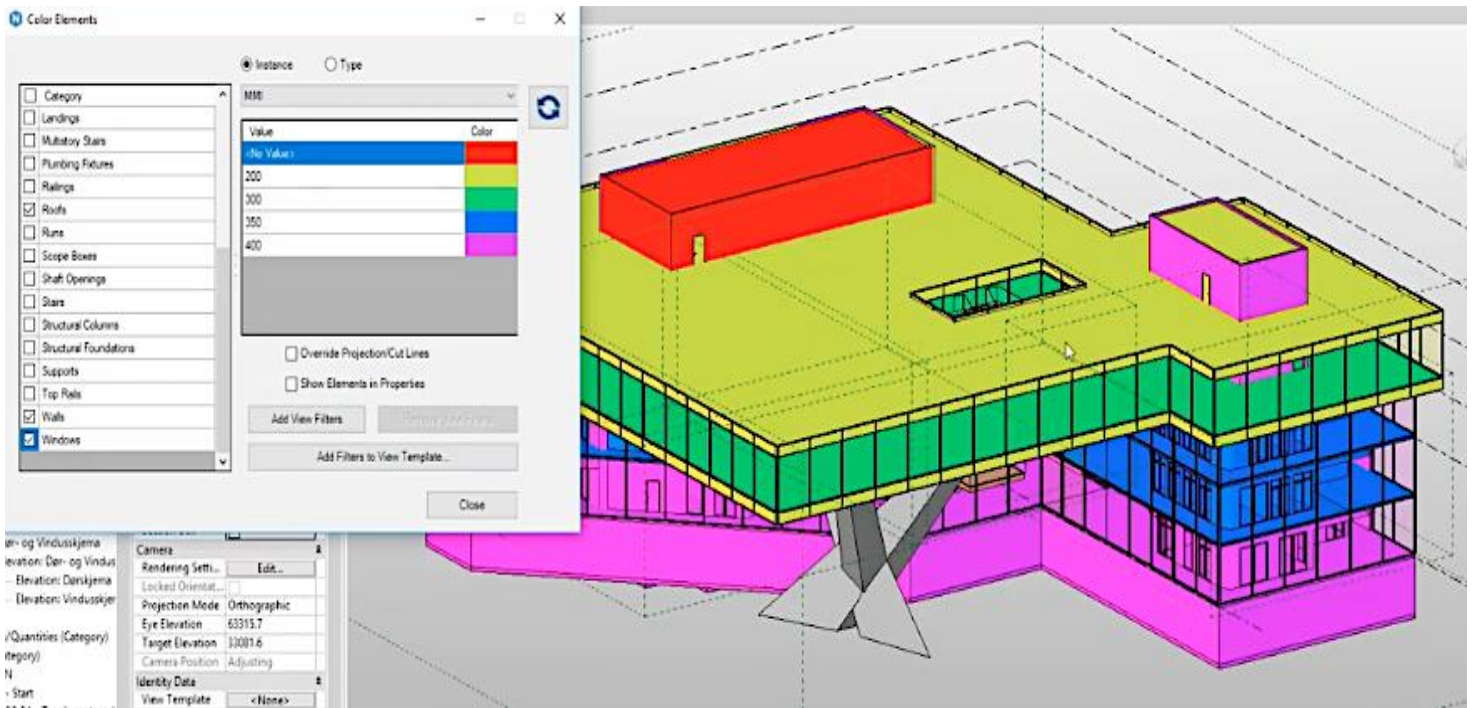
BuildingSMART har laget en egen oversikt over statusparametere. *BuildingSMART* er en nøytral interesseorganisasjon som jobber med innovasjon og digitalisering av bygge-, anleggs- og eiendomsnæringen (buildingSMART, 2019). De har produsert et forslag til håndtering av prosessstatus. Ut i fra dette forslaget er det mulig å bruke definerte fargekoder for å oppdatere statusen på det som skal produseres og kontrolleres. De har fargekoder til fire deler av byggeprosessen; "Generelt", "prosjektering", "bygging" og "driftsfase". I tillegg til statusnavn på de ulike fasene, brukes det statuskoder i tilfeller hvor fargekoder og statusnavn ikke strekker til.

Status Process Code	Prosesstatusnavn - Norwegian	Process Status Name - English	Color	RGB Color Code
PS0	Generelt	General		
PS01	Fryst = Endring ikke tillatt	Frozen = Change not allowed		255, 0, 0
PS02	Hold = Beslutning avventer informasjon	Hold = Decision awaits information		255, 235, 7
PS1	Prosjektering	Design		
PS11	Etablert	Established		255, 125, 125
PS12	Klart for Disiplinkontroll	Ready for Domain QA		81, 251, 255
PS13	Godkjent Disiplinkontroll	Approved Domain QA		255, 193, 54
PS14	Klart for Tverrfaglig Kontroll	Ready for Multi-domain QA		238, 95, 187
PS15	Godkjent Tverrfaglig Kontroll	Approved Multi-domain QA		0, 226, 0
PS16	Klart for Tredjepartskontroll	Ready for Third-party QA		104, 138, 254
PS17	Godkjent Tredjepartskontroll	Approved Third-party QA		188, 188, 188
PS18	Klart for Byggherrekontroll	Ready for Client QA		253, 237, 99
PS19	Godkjent av Byggherre	Approved Client QA		91, 255, 99
PS3	Bygging	Construction		
PS31	Kontrahert	Object procured		91, 255, 99
PS32	Assembly Level Acceptance Test	Assembly Level Acceptance Test		255, 239, 111
PS33	Factory Acceptance Test	Factory Acceptance Test		253, 143, 227
PS34	Bygget/ferdigmontert	Constructed/Assembled		128, 167, 254
PS35	Site Acceptance Test	Site Acceptance Test		255, 119, 116
PS36	Godkjent integrerte systemtester (tjenestetester)	Approved Integrated System Test		255, 164, 85
PS37	Godkjent overtakelse	Approved Handover		158, 255, 249
PS5	Driftsfase	Operation		
PS51	Utskiftes/erstattes	To be replaced		33, 255, 26
PS52	Rives/tjernes	To be demolished/removed		12, 79, 255
PS53	Avhendt	Disposed		30, 254, 255

Figur 21 - Prosesstatus i henhold til buildingSMART (buildingSMART, 2017)

Under "generelt" finnes de to viktigste parameterne innen statushåndtering. Det blir brukt fargen rød for statusen "fryst". Det vil si at dette er elementer som ikke kan endres. Grunnen til at denne ikke kan endres, kan være at det er allerede produsert eller ferdigstilt. "Hold" markeres med fargen gul og står for at det venter nærmere beslutning. Det kan være på byggelementer som må endres på grunn av for liten eller stor dimensjon, feil i modell eller noe som gjør at dette må kontrolleres på ny. Både "fryst" og "hold" er parametere som blir mest brukt mellom de involverte. Disse statusnavnene er korte og presise og de fleste har kjennskap til disse. For "prosjektering" finnes det ni forskjellige statusparametere som kan oppdateres med fargekode. Disse brukes for hvilket stadium de ulike elementer er på i kontrolleringsprosessen. Det brukes ulike fargekoder for om elementene er klar til ulike kontroller, og når de er godkjente. Også for "bygging" og "driftsfase" finnes det forskjellige parametere for fremdrift som er forklart i figur 21.

Det kan også være nødvendig å koble status opp mot MMI nivåer. I prosjekter hvor det blir avtalt å bruke MMI som statusparametere er det mulig å bruke de allerede forhåndsdefinerte fargene fra MMI 100 til MMI 500. MMI er et relativt nytt konsept, men det blir mer og mer brukt i byggeprosjekter. Figur 22 presenterer hvordan bruk av MMI og fargekoder er med på å gi en mer oversiktlig visualisering av hvor langt i byggeprosessen de forskjellige elementene i bygget er kommet.



Figur 22 - MMI-klassifisering fra Naviate

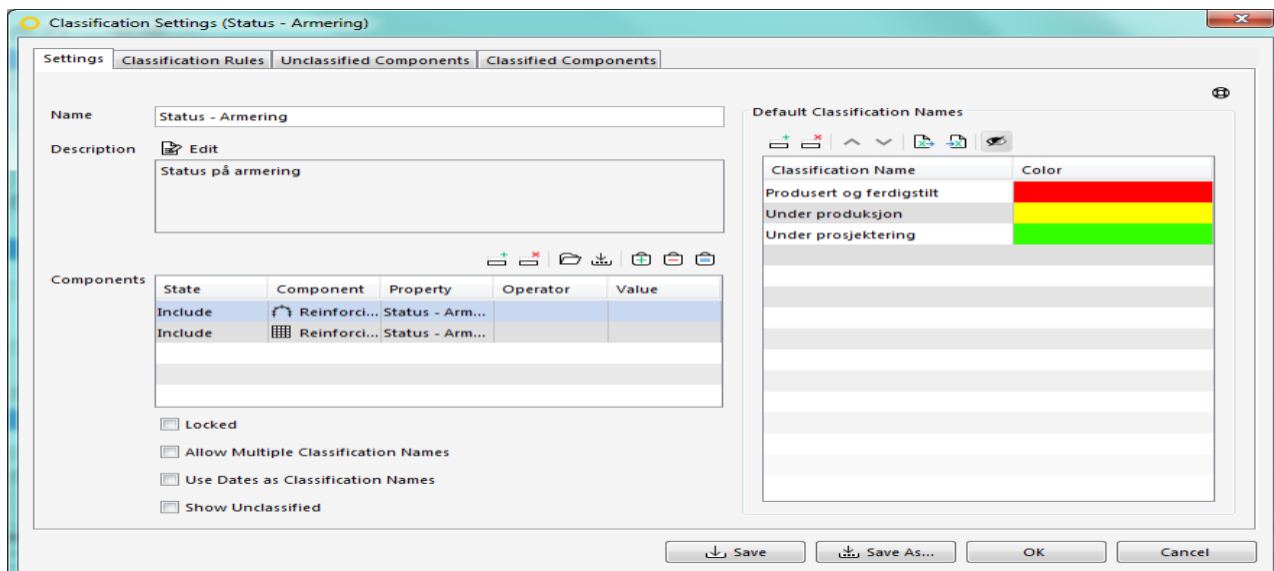
MMI er i dette tilfellet laget som en klassifikasjon i *Naviate*. Det gjør det mulig å koble opp ulike deler av bygget opp i mot MMI klasser. Underveis vil fargene endres slik at alle bygningselementer til slutt når ferdigstilling, altså MMI 500.

4.1.5.1 Egendefinert statusparameter

Den egendefinerte statusparameteren ble laget som en klassifiseringsfunksjonen i *Solibri*. Selv om det ble produsert klassifiseringsfunksjon for armeringsjern, er det ved enkle tasteklikk mulig å legge til andre byggelementer. Etter samtaler med *Sweco* ble det valgt å bruke tre statusoversikter. De følgende statusene er: "Under prosjektering", "Under produksjon" og "Produsert og ferdigstilt". Grunnen til det er valgt mye færre parametere for status enn det *buildingSMART* foreslår er fordi det går mye arbeid med på å oppdatere modellen underveis. Med mange statusparametere kan det bli mye ekstraarbeid for RIB. RIB må kontinuerlig holde kontroll på hva som skjer hos entreprenør og armeringsprodusent for å oppdatere status. Det kan være hensiktsmessig å bruke de tre valgte parametere i tillegg til de anbefalte "frys" og "hold" parametere for å unngå misforståelser. Det er i tillegg viktig å avklare fargekodene på forhånd, slik at de egendefinerte statusene ikke har samme fargevalg som "frys" og "hold". Tidspunkt for oppdatering av status bør forhåndsavtales mellom aktørene. Dette for å gi en forutsigbarhet når noe vil bli oppdatert, og for å holde god kommunikasjonen mellom partene.

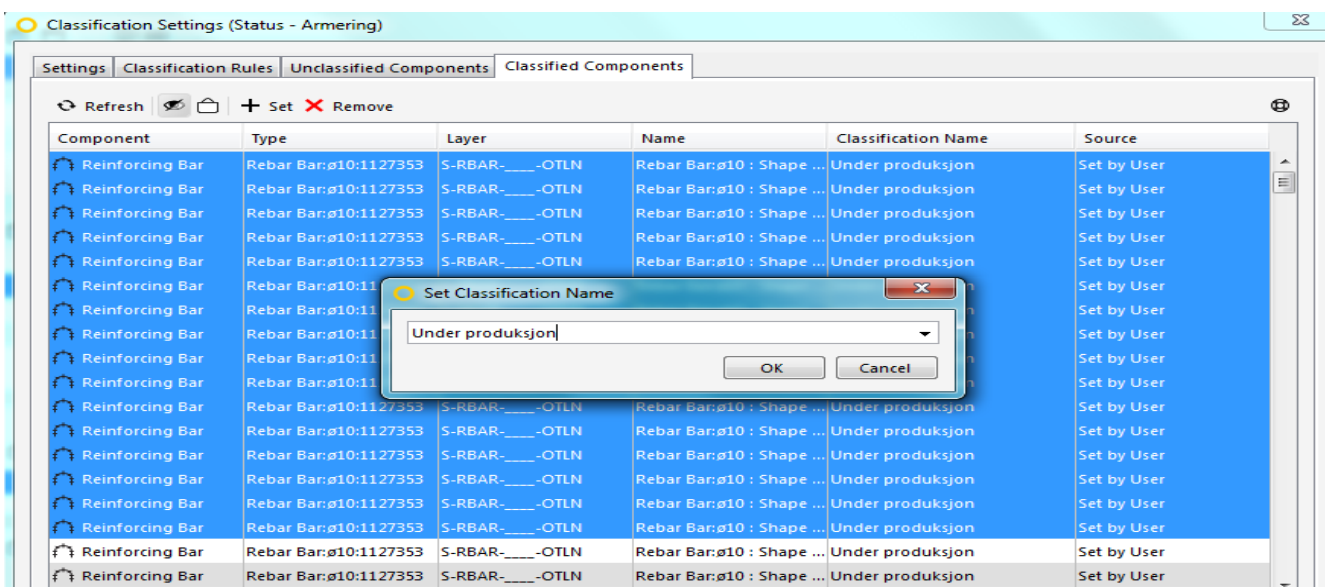
De valgte statusparameterne ble utstyrt med fargekoder, "Under prosjektering" med grønn, "Under produksjon" med gult og "Produsert og ferdigstilt" med rød. Grunnen til valget av fargekoder, kommer av muligheten til å fortsatt gjøre endring på armeringen. "Under prosjektering" gir en "grønt lys" til å fortsatt gjøre endring hvis det måtte forekomme endringer på prosjektet. "Under produksjon" er en mer kritisk fase for endring, da det kan hende at deler av

bestillingen allerede er under produksjon. Derfor er denne tildelt fargen gul, da det kan være muligheter for endring. "Produsert og ferdigstilt" er den mest kritiske fasen for endring. Her er armeringen allerede produsert og plassert på byggeplassen, noe som gjør at den ikke kan endres. Oppsettet av status er presentert i figur 23.



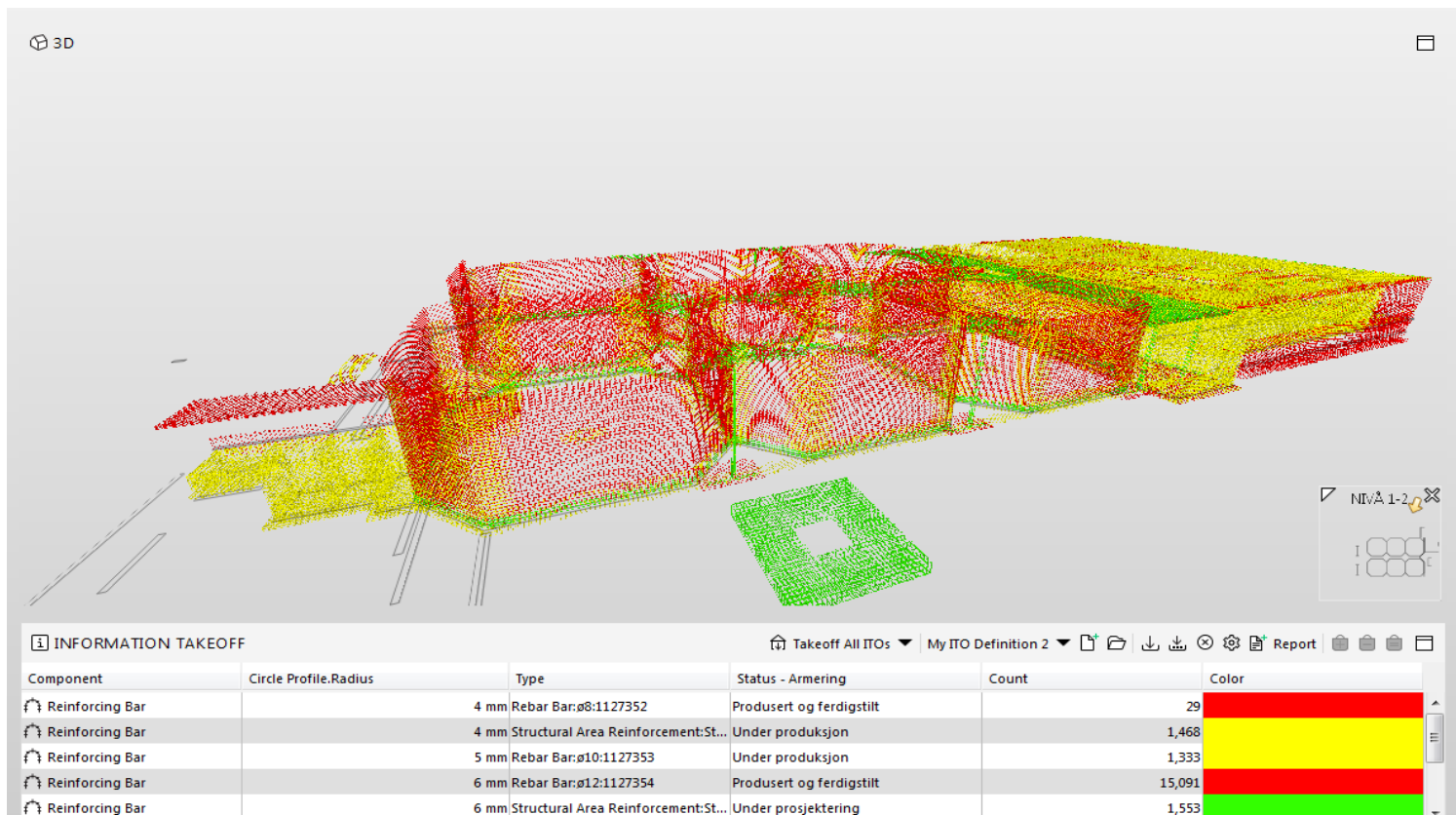
Figur 23 - Egendefinert statusparameter laget i Solibri

Statusklassifiseringen er funksjon som må endres manuelt. For store prosjekter kan dette være en veldig langsom prosess, da kan det være hensiktsmessig å dele armering inn i klassifisering etter partisjoner eller lignende. I denne statusklassifiseringen er det mulig å markere de armeringsjernene som skal høre til de ulike kategoriene. Først blir armeringen som skal tildeles eller endres status på markert, deretter må den tildeles en status. I dette tilfellet er det mulig å velge mellom statusene som ble presentert tidligere; "under prosjektering", "under produksjon" og "produsert og ferdigstilt". I kolonnen helt til høyre i figur 24 vises det hvem som har vært inne i modellen og endret statusen på armeringen.



Figur 24 - Endring av status klassifisering i Solibri

I figur 25 fremstilles fordelingen av jernene etter status i *Solibri*. Det er mulig å lage egenprodusert lister over hva som er ønsket å hente ut av informasjon i selve "Information Takeoff" funksjonen. Denne funksjonen gjør det mulig å hente ut alt fra bøyelister til egendefinerte klassifiseringer. Informasjonsgrunnlaget som presenteres kan redigeres og tilføyes det som er ønskelig. Dette gjør at denne funksjonen er hyppig brukt til å hente ut mengdelister av armering eller andre bygningselementer. Mengdeuttaket gjør det mulig å hente ut informasjon knyttet til det valgte bygningselementet i *Excel*- eller *PDF*-format. Denne listen kan videreformidles til entreprenør eller armeringsprodusent, slik at den kan brukes i deres bestilling- og produksjonssystem.



Figur 25 - Visualisering av prosjekt etter status på armering fra *Solibri*

4.2 Referanseprosjekter

For å få en bedre praktisk forståelse av hva tegningsfrie prosjekter innebærer er det valgt å fokusere på to referanseprosjekter. Det er ved hjelp av *Sweco* og *Kamstål AS* at de følgende prosjektene ble valgt. Referanseprosjektene er *SUS2023* og *Ledaal Park Niels Juel*. Grunnen til det er valgt å inkludere prosjekter i oppgaven, er for å gi leseren en bedre forståelse av hvordan samspillet i prosjektene fungerer. I tillegg er det lagt vekt på å vurdere bruk av digital armering og BIM-verktøy i prosjektene.

4.2.1 SUS2023

SUS2023 er et gigantisk og komplekst prosjekt som består av flere entrepriser. I byggemøtene var det hovedsakelig bedriftene knyttet til entreprisen for det byggetekniske som deltok. Det var flere entreprenør-, armering- og rådgivende ingeniør firma tilstede.

4.2.1.1 Erfaring fra byggemøter og prosjektering

I det aller første møtet var det ett koordineringsmøte med fokus på armering. Her ble det tatt opp prinsipper og valg gjort av rådgivende ingeniør firma. Entreprenørene fikk i dette tilfellet følelsen av at denne planleggingen og modelleringen hadde gått for fort frem uten innspill fra dem. Det var allerede modellert opp store deler av bygningene etter prinsipper fra rådgivende ingeniør firma. Temaet om fast innspente eller ikke innspente dekker og gulv ble diskutert, hvor konklusjonen var i hovedsak at rådgivende ingeniør firma fikk viljen sin. Grunnen til dette var av tidsmessige grunner, og av den grunn kunne de ikke ta hensyn til entreprenørenes ønsker. For at byggherre skal kunne følge fastsatt fremdrift var det flere løsninger som ikke ble ønskelige for entreprenørene på byggeplassen. Rådgivende ingeniør firma hadde tatt valg basert på beregninger for lyd, riss og spenning, noe som ikke alltid er fordelaktig for entreprenør eller armeringsleverandør. Valgene var også basert på å gjøre det komplekse bygget mest funksjonelt med tanke på endringer av struktur i fremtiden. Ett annet krav entreprenøren ønsket var større dimensjoner på armering i tillegg til større lengder. Entreprenørene hadde også ett ønske om at det skulle bli produsert fullstendige modeller til bruk på byggeplass. Da dette er et digitalt prosjekt, skal entreprenør kjøpe inn BIM-utstyr slik at der mulig å bruke modell på byggeplass. Derfor var det ønske om en mer fullstendig modell som inkluderer hvor i modell det skulle være blant annet radon- og vanntett duk i grunnen.

Hovedfokuset til ett av møtene var bruk av samhandlingsplattformen *Pims365*. Det ble bestemt at dette var det verktøyet utenom mail og *Solibri* som skulle brukes til kommunikasjon og samhandling blant de involverte. Det står grundigere forklart om funksjonene til *Pims365* i teoridelen av oppgaven. Selv om det er mange gode funksjoner i *Pims365*, var det også flere spørsmål. Møtet var satt opp for å oppklare funksjoner og bruk av *Pims365*. I dette møtet fikk entreprenørene og armeringsprodusent oppklaring i spørsmål knyttet rundt filhåndtering og saksbehandling.

SUS2023 skal være et digitalt prosjekt, men kommer foreløpig ikke inn i kategorien "tegningsfritt", da det er nødvendig med enkelte snitt og plantegninger i 2D. Når det siktes til prosjekter med dimensjoner på denne størrelsen forstår de fleste raskt at det er ønsket tegninger som en ekstra sikkerhet. Det ble bestemt at *SUS2023* skal bruke mobile løsninger for entreprenøren på byggeplass. I dette tilfellet er det *Vest Betong* og *SV Betong* som skal kjøpe inn BIM-verktøy som skal brukes på byggeplassen. Det vil bli investert i BIM-kiosker, samt håndholdt enheter. Det er også avtalt at prosjektet skal bruke *Solibri* og *Pims365* til håndtering av modeller på byggeplass. Armeringen vil bli laget digitalt noe som gjør at både *Kamstål AS* og entreprenørene kan bruke

modellene til henholdsvis produksjonsgrunnlag og modellgrunnlag. *Kamstål AS* vil mota bøyelister sammen med *IFC*-filer. Det er planlagt at de skal få levert armeringsmodellen etter støpetapper slik at de enkelt kan overføre *IFC*-filene til sitt integrerte system. *IFC*-filene gjør at *Kamstål AS* kan lese av modellene og overføre informasjonen til bøyelister som de kan produsere armering etter. På grunn av tidsmessige grunner ble det valgt bort å levere *BVBS* til *Kamstål AS*, noe som gjør at de får litt ekstra arbeid. *BVBS* er filsystemet som det automatiske armeringssystemet til *Kamstål AS* leser. Dette gjør at *IFC*-filene likevel må brukes. Noe som gjør at enkelte manuelle tastetrykk og kontroller må gjøres for å produsere bøyelistene til produksjonssystemet. I prosjekter med slike dimensjoner er det viktig å utnytte gode bestillingsrutiner for å opprettholde fremdriften.

4.2.1.2 Delkonklusjon SUS2023

SUS2023 er godt i gang, men dette er et prosjekt som skal holde på i flere år fremover. Av den grunn kan det ikke bli konkludert videre enn det som er opplevd og erfart fra møtene og samtalene med de involverte. Konklusjonene i samspelet mellom de involverte er at det dette har ett forhold hvor *RIB* har tatt mye av styringen, og entreprenøren er bindeleddet mellom prosjekterende og armeringsleverandør. Armeringsleverandør havner utenfor i dette samspelet, og får ikke ytre sine ønsker og krav tidlig nok til at det kan ha en effekt på fremdriften. *SUS2023* er ett prosjekt som skal stå klar i løpet av fire år, og det er det mye som skal gjøres. Derfor kan det tenkes at *COWI* som prosjekterende rådgivende ingeniør har valgt å stå for sine valg med tanke på tidsmessige grunner. Entreprenør har flere endringer de ønsker å få til slik at de kan spare inn tid på byggeplass, noe som ikke ble tatt hensyn til. Dette tydeliggjør igjen at et byggemøte hvor både entreprenører og armeringsleverandør deltar er nødvendig mye tidligere enn det som ble foretatt i dette prosjektet.

Oppsummert kan det betraktes at bruk av digitale aspekter i *SUS2023* fremmer ett moderne prosjekt. *COWI* produserer digitale modeller som skal brukes til bestilling av armering, i tillegg til å lage optimale modeller som kan brukes på byggeplassen. Dette gjør at entreprenørene har ett stykke arbeid foran seg. Det er entreprenørene som må sørge for god nok opplæring i bruk av *BIM*-verktøy på byggeplassen. Det vil derfor bli spennende å følge med hvordan prosjektet *SUS2023* vil utvikle seg i fremtiden. Det vil også bli spennende å følge med på om prosjektet vil oppnå ønsket fremgang og om de digitale utfordringene på byggeplassen vil bli håndtert.

4.2.2 Ledaal Park Niels Juel

Ledaal Park Niels Juel er et boligprosjekt som har kort tidsfrist, noe som gjør at det er viktig med rask fremgang og prosjektering. I dette prosjektet er *Sweco* prosjekterende rådgivende ingeniør, *Kamstål AS* armeringsleverandør og *Backe Bygg* entreprenør. Her ble det valgt å ha ett tidlig møte hvor alle aktører ble involvert. Det vil si ett samspill hvor både entreprenør og armeringsprodusent tidlig fikk være med på å bestemme detaljer og prinsipper som er ønskelig i prosjekteringen. Alle involverte har som mål å gjøre prosjektet så digitalt som mulig. Det vil derfor bli forsøkt å gjøre prosjektet så "tegningsfritt" som mulig.

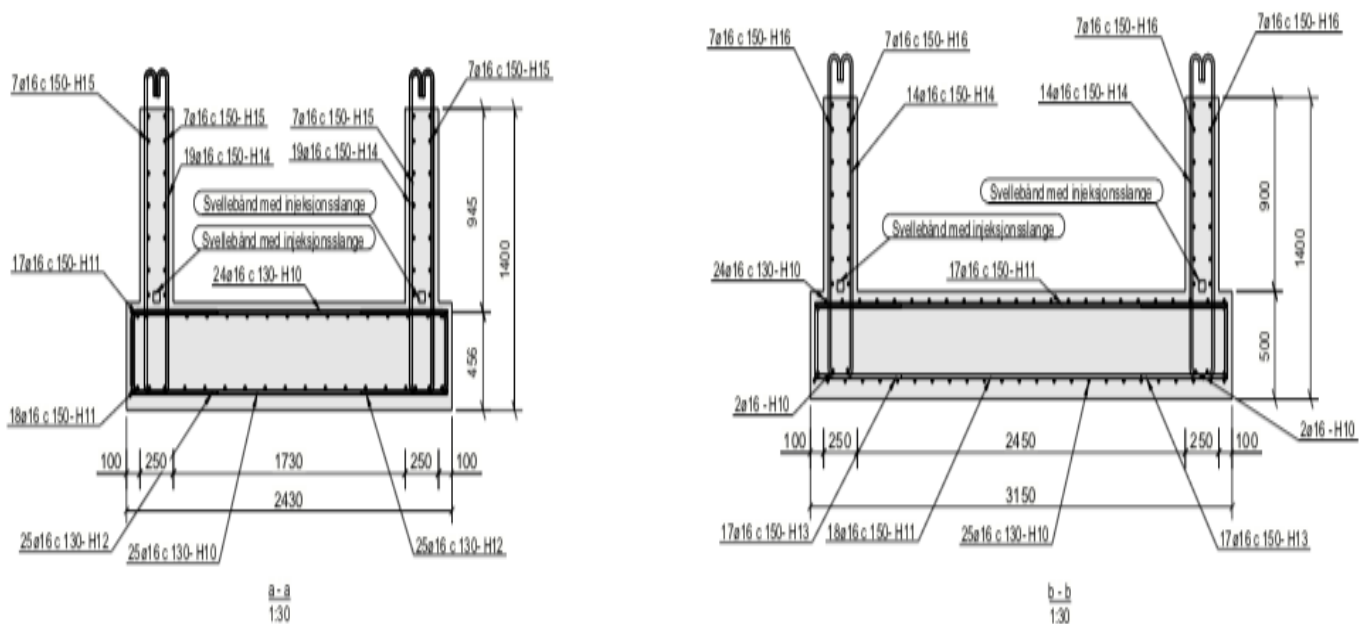
4.2.2.1 Erfaring fra byggemøter og prosjektering

På ett av de første byggemøtene kunne *Kamstål AS* komme med flere ønsker til konstruksjonen. På grunn av kort tidsfrist og liten plass på byggeplassen ble det bestemt at det skulle produseres mest mulig prefabrikkert armering. Det skal også være gjenbruk av deler av modellen, hvor det er flere modellkrav som er like fra 1. etasje og ned i parkeringskjellerne, samt fra 1. etasje og opp i leilighetene.

Kamstål AS kom tidlig med ønsker til prosjekterende ingeniør om begrensinger til modellene. For å få optimale dimensjoner med tanke på transport og leveranse er det satt til krav av *Kamstål AS* om at prefabrikkertarmering ikke må bli større en 12 meter lengde, 2,9 meter i bredde og 4 til 4,5 meter i høyden. Det ble også satt krav til maks 5 tonn armering per korg transport, men optimalt bør det ligge på rundt 1 til 1,2 tonn med armering for å ta hensyn til kran på byggeplass. Det ble bestemt å prefabrikere det meste av armeringselementene. De involverte ble derfor enige om å prøve å prefabrikere alt utenom veggarmoring. Det vil si at *Sweco* skal prosjektere sveiste heisgrubber, fundamenter, gulv, dekker og vegger. *Kamstål AS* har også satt krav til prosjekterende ingeniør om å dele modellen opp i elementer for støpetapper. Dette skal *Sweco* levere i *BVBS-* og *IFC-*filer etter den rekkefølgen *Kamstål AS* skal produsere i. Det er heldig for både *Kamstål AS* og *Backe Bygg*, fordi *Kamstål AS* slipper å lagre armeringen, i tillegg til at *Backe Bygg* får armering med mindre rust. Det ble også bestemt å sette opp et system for armeringen i modellen, hvor armeringpakkene blir "tagget" med en farge- og bokstavkode. Dette blir gjort slik at armeringen blir produsert etter fargekode for de ulike etappene og status i produksjon. Bokstavkoden brukes for type armering, det vil si om armeringen skal være løs, sveist eller i rull. *Sweco* fikk derfor i oppgave å legge inn armeringen med bokstavkode "L" for løs armering, det vil si armering som ikke er prefabrikkert og må bindes manuelt på byggeplass. "S" for sveist armering, som betyr at dette er en del av et prefabrikkert element. "R" for armering i rull, noe som betyr at armeringen er produsert i rull og kan enkelt rulles ut på byggeplass. Rullearmoring kan for eksempel brukes i gulv og fundament.

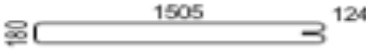
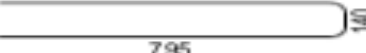







For å gjøre prosjektet digitalt ble det valgt å bruke *StreamBIM* i kombinasjon med *Solibri*. Problemerkene med å forsøke å gjøre prosjektet tegningsfritt kom først når entreprenør skulle bruke *StreamBIM* på nettbrett. Det var relativt nytt for anleggsarbeiderne å kun bruke modell som utgangspunkt. Det var også problemer med å ta seg rundt i modell på nettbrett. Det ble derfor enighet om at enkelte detaljer og snitt måtte produseres. Det ble derfor valgt å gjøre prosjektet *Ledaal Park* ett papirløst prosjekt. Det vil si at en ikke skal bruke fysiske papirer til å lese tegninger på byggeplass, men bruke tegninger via *StreamBIM* i *PDF-*format. Til senere prosjekter ble *Backe Bygg* enige om å bestille inn nye nettbrett som kunne håndtere programvaren bedre. Selv om prosjektet ikke er tegningsfritt har alle aktører også blitt enige om å forsøke å gjøre alt så digitalt som mulig. Det skal derfor kun brukes tegning via *StreamBIM* hvor det er nødvendig.

Det ble satt opp nytt møte tre uker før byggestart for å bli enige om når elementer skulle produseres. *Backe Bygg* satte opp leveranseplan etter forventet leveranser av modeller til produksjon for armeringsleverandør *Kamstål AS*. De ble enige om at *Kamstål* skulle mota tradisjonelle bøyelister fra *Sweco* på heisgruben, fundamentene og pumpeump. Grunnen til dette var at det skulle i produksjon først og hadde kort tidsfrist. For de resterende delene av bygget ble det avtalt å bruke digital overføring av *BVBS*- og *IFC*-filer av modellene slik at en kunne utnytte det digitale systemet til *Kamstål AS*. I figur 26 er snitt og detaljtegninger av den modellerte heisgruben til prosjektet presentert.



Figur 26 - Tegning av heisgrubben Ledaal Park Niels Juel

Heisgruben ble laget ved hjelp av snitt i 3D-modellen. For at modellen skal være fullstendig er det nødvendig å bruke målsetninger og tilleggsinformasjon slik at de på byggeplassen kan bruke dette som byggegrunnlag. Ved kun bruk av 3D-modellen vil entreprenøren bruke tid på å lete frem alle lengdene på byggeplass. Entreprenøren hadde i dette tilfellet ikke tilstrekkelig kunnskap i bruk av BIM til å hente frem lengder, derfor ble det valgt å bruke tradisjonelle 2D-tegninger på enkelte detaljer. I tillegg til disse 2D-tegningen ble det laget en tradisjonell bøyeliste for kvalitetssjekk hos *Sweco* og *Kamstål AS*. Tilhørende bøyeliste til heisgruben i dette prosjektet presenteres i figur 27. Denne type bøyeliste har de fleste kjennskap til og gjør at fremdriften i starten av prosjektet vil kunne gå feilfritt. Det gjør på en annen side jobben til *Kamstål AS* tyngre enn ved bruk av *BVBS*. Grunnen til det er at de må produsere armering ved å manuelt taste inn all informasjonen fra bøyelisten til sitt integrerte system. Dette var et valg entreprenøren ønsket å ha på byggeelementene som skulle i produksjon først.

Bøyeliste							
Rette stenger og nett tilpasses på stedet							
POS. NR.	DIAM. MM	ANT. STK	KAPPLENGDE MM	SUM M	SKISSE - MÅL I MM ALLE MÅL ER UTVENDIGE	STÅL KVAL	MERKNAD
H14	ø16	66	3410	225.1		B500NC	Dør 50
H17	ø16	56	1660	93.0		B500NC	Dør 50
H10	ø16	53	2360	125.1		B500NC	
H11	ø16	35	3080	107.8		B500NC	
H12	ø16	50	1610	80.5		B500NC	
H13	ø16	34	1570	53.4		B500NC	
H15	ø16	28	2840	79.5		B500NC	
H16	ø16	28	2120	59.4		B500NC	
H18	ø16	12	830	10.0		B500NC	
Total vekt (kg):				1315.8			

Figur 27 - Bøyeliste til heisgruben i Ledaal Park Niels Juel

De ble også enige om at Sweco skulle dele opp leveransen i pakker hvor hver pakke består av forskjellige elementer i bygget. Det skal da leveres BVBS-filer for dekker, innervegger, søyler og annet. Kamstål AS og Backe Bygg ble enige om leggeplan for armering på byggeplassen, og laget en leveranseplan til Sweco. Modellene ble beriket med fargekoder og sortert i ett mappesystem i StreamBIM. Det ble valgt at hver etasje skulle ha egne mapper for filer og tegninger til hvert bygningselement. Grunnen til dette er for å spare tid på leting etter tegninger og modeller på byggeplass.

For å kontrollere IFC- og BVBS-filene er det valgt å opprette tradisjonelle bøyelister til bruk i egenkontroll og sidemannskontroll i Sweco. Grunnen til dette er at det per i dag ikke finnes en egen måte å kontrollere tegningsfrie modeller. Bøyelistene vil bli generert slik at Kamstål AS kan sammenligne produksjonsgrunnlaget fra BVBS-filene opp mot disse bøyelistene. Sweco vil også selv bruke bøyelistene til å kontrollere at jernene er tilpasset bæringen til konstruksjonen og at de følger gitte krav og standarder.

4.2.2.2 Delkonklusjon Ledaal Park Niels Juel

Ledaal Park Niels Juel prosjektet har fremstått som ett vellykket prosjekt selv om det ikke ble tegningsfritt. Det som gjorde planleggingen og fremdriften gunstig i dette prosjektet var de tidlige

møtene med alle involverte. Det gjorde at alle fikk avklare og bli enige om detaljer og fremgang i prosjektet. Med kort tidsfrist var det nødvendig og veldig tidsbesparende å velge mest mulig prefabrikkerte elementer. RIB fikk tidlig en bedre forståelse over ønskelig informasjon og krav til prefabrikkering i prosjektet. Den eneste nedsiden ved prosjektet er at det fortsatt kreves litt mer fra entreprenørs side. For at de etterhvert skal kunne bli enda mer digitale og til slutt kun basere prosjektene på modell, er det anleggsarbeiderne som må lære seg bruk av BIM-verktøy. Denne overgangen skjer ikke over natten, men det er viktig at entreprenørene tar initiativ så raskt som mulig. I byggebransjen er tiden ofte knapp, og det vil derfor kreve mye tid og penger til både innkjøp av BIM-verktøy som gir et godt nok grunnlag til bruk på byggeplassen. I tillegg til investering i BIM-verktøy er entreprenøren nødt til å ha en grundig opplæring i bruk av BIM for de ansatte. Dette gjelder ikke kun *Backe Bygg*, men de fleste firma som ønsker å ta steget i en mer digital retning.

4.3 Egendefinert sjekkliste for tegningsfri prosjektering

Oppgaven har som mål å foreslå en egendefinert sjekkliste til bruk for tegningsfri prosjektering. Denne egendefinerte sjekklisten skal være et forslag til bruk for RIB i fremtidige prosjekter. Sjekklisten vil bestå av forslag til hva som bør være med i prosjekter som skal være tegningsfrie. Listen vil baseres på kunnskap fra teorikapittelet, i tillegg til erfaring hentet fra byggemøter og samtaler med relevante fagpersoner. Sjekklister er noe som finnes for det meste innen prosjektering. Disse brukes som hjelpemiddel for å huske alt som skal beregnes, sjekkes eller kontrolleres.

Sjekklisten er bygget opp av sjekkpunkter tilhørende forskjellige kategorier. For hvert sjekkpunkt vil det være tre kolonner som må være fylt ut. Her står "EK" for egenkontroll og "SK" for sidemannskontroll. Disse skal markeres når personen har godkjent sjekkpunktet. I kolonnen "kommentarer" skal det fylles ut nødvendige kommentarer knyttet rundt sjekkpunktet. Ett eksempel på dette kan være ved sjekkpunktet "Felles samhandlingsplattform". Her kan kontrolløren skrive hvilken plattform som er brukt i kommentarfeltet. Der kan det skrives for eksempel: "Solibri", "StreamBIM" eller "Pims365". Den egendefinerte sjekklisten tar ikke for seg nødvendig punkter knyttet opp mot beregninger av laster, statiske systemer og krav. Grunnen til dette er at det i de fleste bedrifter allerede finnes sjekklister for dette. Sjekklister er ett godt hjelpemiddel som brukes flittig på arbeidsplasser. Det er en god metode for å dokumentere og kontrollere prosjekter.

I tabell 4 presenteres en del av den egendefinerte sjekklisten knyttet opp mot 3D-armering. Den fullstendige sjekklisten finnes i vedlegg inndelingen.

3D Armering

Sjekkpunkt	EK	SK	Kommentar
Støpe/produksjons etapper			
Formkoder etter NS-EN:3766			
Armering etter partisjoner			
Bruk av startnummer og prefiks			
Fargekoder			
Bokstavkoder på armering ("R" = Rull, "S" = Sveist, "L" = Løs)			
Sjekk dimensjoner på armering (optimalisere)			
"Rebar numbering" analyse i <i>Naviate</i>			
MMI klassifisering (ved avtale)			
Produsere leggeplan for avtalte armeringselementer			
Avtale for håndtering av revisjoner (endringsliste)			
Prosesstatus (Forhåndsdefinerte statuser etter fargekoder og klassifisering) [hold, frys, osv.]			
Avtale om hvem og når status i modell oppdateres			
Mulighet for å ta mål i modell			
Sjekk for duplikater			

Tabell 4 - Egendefinert sjekkliste

5. Diskusjon

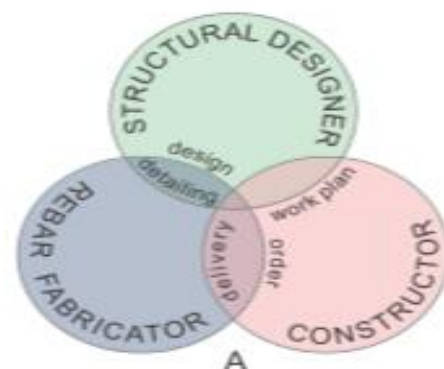
5.1 Hvem og hva må endres i nåværende prosesser?

En overgang til bruk av digital armering og tegningsfrie prosjekt er ett skifte som utvilsomt vil kreve endringer i dagens prosesser. Både RIB, entreprenør og armeringsprodusent må gjøre endringer i dagens prosesser. For at dette skifte skal skje er det først og fremst entreprenørene som må endre sine prosesser. RIB og armeringsprodusent må tilpasse seg denne endringen, men de ligger fortsatt noe hakk foran entreprenørene i bruk av digitale hjelpemidler.

5.1.1 Samspill mellom aktørene

I teoridelen ble det sammenlignet to ulike byggetekniske samspill mellom de prosjekterende og utførende. Her finnes det RIB, entreprenør og armeringsprodusent. Disse kommer oftest fra forskjellige firma og er uavhengige av hverandre. Da er det spesielt viktig å ha god kommunikasjon mellom hvert ledd. For å kunne få til effektive prosjekter uten for mye ventetid, forsinkelser eller lignende er det samspillet mellom aktørene som er viktig.

I casestudiet ble det sett på to referanseprosjekt. Disse prosjektene hadde stor forskjell i samspillet mellom aktørene. I *SUS2023* prosjektet fikk entreprenørene og armeringsprodusenten en følelse av at RIB hadde gjennomført store deler av prosjektet uten innspill av dem. I *Ledaal Park Niels Juel* prosjektet ble det tidlig satt opp et møte med alle involverte aktører. Disse møtene førte til god felles forståelse av prosjektet, og det ble god enighet om hvilke prinsipper som skulle brukes. Samspillet fungerte som i figur 28. RIB fikk tips til transportbegrensinger av armeringsprodusent, samt begrensinger til vekt av armeringselementer som skulle løftes på plass med kran.



Figur 28 - Samspill A

Forskjellen i samspillet i prosjektene viser igjen at ett forhold som i figuren er det som fungerer best hvis de involverte er enige seg i mellom. I *SUS2023* prosjektet ble det enighet om at møter i fremtiden må forekomme hyppigere, slik at både armeringsprodusent og entreprenør kan komme med ønsker før modelleringen settes i gang. Det er viktig å huske på at dette prosjektet er veldig kompleks da det er ett sykehusbygg. Sykehusbygg skal ha muligheten til å kunne bygges om i fremtiden, og det måtte derfor tas hensyn til å dele opp bygget i seksjoner som kan tilpasset endringstiltak i fremtiden. Dette gjør at RIB må ta ekstra hensyn i modelleringen, noe som gjør at det blir få rom til endring etter entreprenørens krav. I tillegg handler det meste av bygging om tidspress for å kunne holde en sunn økonomi. I begge prosjektene er det kort tidsfrist, men det kan fremdeles være viktig å holde tidlige møter for alle involverte. Grunnen til dette er for å få en tidlig forståelse av hva som er tenk, slik at alle er klar over hva som skal gjøres når byggingen skal settes i gang. Koordineringsmøter mellom prosjekterende og utførende forekommer i all hovedsak omtrent en gang i uken eller annenhver uke, alt avhengende av prosjektet. Selv om møtetiden tar opp verdifull tid i prosjekteringsfasen,

er det nødvendig. Grunnen til dette er at entreprenør og armeringsprodusent kan komme med verdifulle tips til modelleringen, slik at det er mulig å spare inn tid. Det er som regel best at prosjektet blir vurdert fra forskjellige sider.

I Norge blir det brukt en blanding av begge samspillene forklart i kapittel 2.5, men ett samspill hvor entreprenøren er bindeleddet mellom RIB og armeringsprodusent blir mest brukt den dag i dag. I følge Sweco er det ofte prosjekter hvor RIB kun har kontakt med entreprenør og ikke armeringsprodusent. I kontakt med armeringsprodusent Kamstål AS kunne det konkluderes med at det er mest heldig for prosjektets fremdrift at armeringsleverandør blir involvert tidligst mulig.

5.1.2 Overgang til digital armeringsprosess

Det vil bli mer og mer utbredt å bruke digital armering ved hjelp av smarte BIM-verktøy, men det finnes også flere utfordringer. Den største utfordringen er tid. Som de fleste er klar over skal bedrifter tjene penger, og da gjelder det å spare inn tid hvor det er mulig. Ett argument mot modellering av armering i 3D er at det vil ta lengre tid i forhold til de tradisjonelle 2D-tegningene. Å modellere 3D armeringstegninger krever at modellen blir beriket med korrekte detaljer, samt at det skaper mindre rom for forenklinger. Da det vil føre til mer arbeid i prosjekteringsfasen er det mange som ser bort fra denne metoden, og heller foretrekker de tradisjonelle 2D-tegningene. På en annen side fremstår 3D-modellene som en investering i tid i prosjekteringsfasen, men denne investeringen vil deretter bli spart inn i utførelsesfasen. En detaljert 3D-modell vil føre til mindre rom for feil og misforståelser underveis. Det må også være ett krav til kompetanse av de involverte ved bruk av BIM-verktøy. Dette kan føre til problemer hvis de involverte ikke oppfølger denne kompetansen. Det finnes flere BIM-verktøy og formater, derfor er det viktig at de som skal bruke BIM på byggeplassen har fått opplæring i bruk og forståelse av funksjoner. Ved bruk av smarte BIM-løsninger kan det ikke bare skapes bedre og mer forståelige modeller, men det kan også skapes effektiv og bedre kommunikasjon mellom aktørene. Utviklingen av BIM-verktøy gjør at den digitale armeringsprosessen ikke stopper med RIB, men også fortsetter i kommunikasjonen mellom aktørene. Ved bruk av en felles samhandlingsplattform kan en håndtere modeller og kommunikasjon på en effektiv måte.

Som det ble forklart i prosjekteringen av kunst- og designhøgskolen i Bergen har *Statsbygg* og *Norconsult* krevd bruk av BIM på byggeplass. I dette prosjektet kunne prosjekteringsleder Sven Wertebach konkludere med at bruk av BIM på byggeplass er nyttig for å effektivisere dagens prosesser, men at det fortsatt ønskes tegninger. Entreprenørene synes det er interessant å bruke håndholdte enheter som nettbrett, men trives best med tegninger. Grunnen til dette er at BIM ikke gir muligheten til å "huke" av hva som er blitt gjort i modellen, i tillegg til at det kan være vanskelig å målsette i modellen. Det ble opprettet rundt 4500 saker ved bruk av nettbrett, i tillegg til at det administrative personellet brukte modellen til planlegging og logistikk. Wertehach mener at tegningsfrie prosjekter har størst potensiale, fordi det kommer med enda større pakke med informasjon enn det tegninger gjør. Det som stopper en overgang til bruk av kun modell mener han er at modellene og verktøyene må tilrettelegges bruk på byggeplass. At modellene ikke må

oversvømmes med unødvendig informasjon, og BIM-verktøyene må være enkle og brukervennlige for de på byggeplass.

Erfaring med bruk av digitale verktøy gav også utfordringer i *Ledaal Park Niels Juel* prosjektet. Her var det håp om å gjøre mest mulig digitalt. Det som satte en stopper i dette prosjektet var opplæring og kunnskap av BIM-verktøy på byggeplassen. Anleggsarbeiderne har ikke tilstrekkelig kunnskap til bruk av BIM-verktøy, noe som gjorde at det ble valgt å gjennomføre prosjektet papirløst og ikke tegningsfritt. Dette viser igjen at det er entreprenøren som holder igjen denne overgangen. For å kunne oppnå effektive digitaliserte prosjekter er det nødvendig at entreprenørene tar grep. Ikke bare i dette prosjektet, men generelt for alle entreprenørselskap. I *SUS2023* prosjektet som snart skal i gang med byggeprosessen gjenstår det å følge med på hvordan den digitale bruken blir håndtert på byggeplassen. Entreprenørfirmaene har mål om lære opp anleggsarbeiderne til bruk av BIM-verktøy på byggeplassen. De har ikke erfaring ved bruk av BIM på byggeplass i tidligere prosjekter, derfor skal de investere i nytt BIM-verktøy.

Byggebransjen opplever at overgangen fra 2D-armering til 3D-armering holdes igjen av entreprenørene, men at både RIB og armeringsprodusenter må ta ansvar. Både RIB og armeringsprodusent må bidra med å tilpasse sine systemer til bruk på byggeplassen. RIB vil ved denne overgang slippe å lage 2D-tegninger og kan fokusere enda mer på modelleringen. Dette gjør at modellen må bli enda mer detaljert og fullstendig. Det er i tillegg nødvendig med enda nøyaktigere kvalitetskontroller på modellen før den sendes videre til produksjon. RIB må derfor produsere én modell som er tilrettelagt krav til armeringsprodusent, det vil si ønsker om bruk av *BVBS*- og *IFC*-filer til innsending av armering. Derfor har RIB ansvar for å lære seg å håndtere *BVBS* formatet. Som hjelp for å håndtere alt av krav og ønsker til tegningsfrie prosjekter kan RIB bruke den foreslåtte sjekklisten. Armeringsprodusent må også oppfylle kravene som kreves for digitale prosjekter. Digital prosjektering krever at armeringsprodusent må ha digitalt systemer til produksjon av armering direkte fra modell. Flere armeringsprodusenter har sett potensialet til automatiske armeringssystemer, og flere har derfor investert i nye systemer. Det koster mye penger å investere i digitale armeringssystemer, i tillegg til opplæring av det. Digitale systemer bidrar ikke bare til mindre ledetid, men vil også kunne gi mindre feilproduksjon. Mindre manuelle overføring av data vil være med på å forenkle oppgavene til de ansatte, men vil i tillegg kreve enda strengere kvalitetssikring. Kvalitetssikringen vil gå ut på å sjekke om maskinene har produsert armeringsjern etter informasjon gitt i tilhørende *BVBS*-fil. Det vil da være nødvendig å sjekke opp mot dimensjoner, kvalitet og lignende.

Endringene som må gjøres starter allerede i prosjekteringsfasen hos RIB og brer seg ut helt til ferdigstilling på byggeplass. Hos RIB er bruk av digital armerings helt nødvendig. Ved hjelp av foreslått sjekkliste er det mulig å tilføre modellen viktige funksjoner til bruk i tegningsfrie prosjekter. De foreslåtte parameterne vil gi fordeler til RIB, armeringsprodusent og entreprenører. Parameterne er med på å gjøre tegningsfrie prosjekter mer effektive, fordi det tilføres funksjoner som gjør modellen enklere å jobbe med og kan bidra til raskere produksjon hos armeringsprodusent. De følgende parameterne ble tatt opp i kapittel 4.1 og oppsummeres på neste side.

1. Startnummer og prefiks
2. Fargekoder
3. Leggeplaner
4. Revisjonshåndtering
5. Prosesstatus

5.1.3 Programvare og verktøy

Det finnes i dag gode verktøy for bruk av BIM i prosjekteringsfasen. Dette er med på å gjøre tegningsfrie prosjekter mulig. Bruk av bevegelige BIM-kiosker i tillegg til håndholdte enheter gjør at hverdagen blir mer og mer digital, men programvaren til disse er ikke optimalt utviklet. Det oppstår som regel flere problemer på byggeplassen. Ofte er modellene vanskelige å håndtere på grunn av at nettbrettet eller mobilen ikke takler store filer og "tunge" programvarer. Flere opplever at det er vanskelig å ta snitt i de områdene de ønsker. Dette gjør at det fremdeles foretrekkes tegninger på byggeplass, som en ekstra sikkerhet.

Arbeiderene på byggeplassen opplever at det kan være vanskelige å målsette og "krysse" av hva som er blitt gjort i modellen. Mulighetene for å forbedre dette kan være ved bruk av målsetting i 2D bak 3D-modellen. Det vil si at det er forhåndsdefinert målsetting av viktige mål som er knyttet opp mot avstander i 3D-modellen. Det gjør at målene vil følge modellen uansett hvordan det flyttes og roteres på modellen. Det bør også utvikles bedre målsetting i programvarene som brukes, slik at det er mulig å ta korrekte mål av vilkårlige avstander. Entreprenørene ønsker å ha en mulighet til å fysisk "krysse" av hva som er blitt ferdigstilt. Løsningen på dette kan være ved bruk av prosessstatuser eller fargekoder. Underveis kan entreprenør i samarbeid med RIB bli enige om hvem som oppdaterer status på byggingen. Dette gjør at RIB eller entreprenør kan oppdatere status til "produsert og ferdigstilt" eller til MMI 500. Deretter kan modellen suppleres med en fargekode, slik at alle involverte kan følge med på hvordan prosjektet utvikles.

Per i dag er ikke modellene og BIM-verktøyene utviklet godt nok til bruk på byggeplassen. Flere ønsker å ha modeller med informasjon som kun er relevant for byggeplass, dette gjør at RIB får i oppgave å fjerne all unødvendig informasjon fra modellen. Dermed kan modellen bli mer brukervennlig for de som skal håndtere den på byggeplass. RIB har også en tendens til å forlate prosjekter etter at modellen og tegningene er videresendt til entreprenør og armeringsprodusent. I prosjekter hvor det er ønsket å bruke prosessstatus eller MMI er det viktig at RIB er villig til å vedlikeholde og oppdatere modellen helt til prosjektet er avsluttet.

5.1.4 Tilpassing av kontroll og kvalitetssjekk

Dagens kontrollpunkter, sjekklister og kvalitetssystemer må tilpasses til bruk i digitale prosjekter. Tegningsfrie prosjekter gjør at bøyelister og 2D-tegninger ikke lenger kan brukes til kontroll, derfor må nye rutiner og systemer opprettes. Det finnes sjekklister med kontrollpunkter innenfor det meste av byggeprosessene. Sjekklister brukes av alle aktører, og disse må tilpasses til bruk i tegningsfrie prosjekter. Sjekklister og kontrollene i dag består gjerne av å sammenligne papirer med det som er bygget. I tegningsfrie prosjekter derimot må kontrollgrunnlaget bygge på sjekk og analyser av modellen. Sjekklister må derfor tilpasses bruk av funksjoner i modellen. Det kan være nødvendig å kontraktfeste hvem som har ansvaret ved avlevert modell som arbeidsgrunnlag. Det viktigste er at modellen blir brukt i sanntid, noe som tilsvarer at alle jobber med helt oppdatert modell. Det vil gi mindre rom for feilavlesing og bruk av feil modeller og revisjoner. RIB vil få ett større ansvar knyttet opp mot overlevering av filer. Blir det feilproduksjon og misforståelser må det opprettes avtaler om ansvarsrett og lignende. Stikkprøver og kontroll på byggeplass vil foregå som før, men det vil være nødvendig at kontrollør har kjennskap til bruk av modell, da det ikke lenger vil produseres tegninger. Armeringsprodusent vil på sin side ikke mota tradisjonelle bøyelister, men bruke sitt integrerte system til å hente ut bøyeliste sammen med produksjonsgrunnlaget fra *BVBS*. Armeringsprodusent må ut i fra den egenproduserte bøyeliste sammenligne dette med *BVBS* før det settes i gang produksjon. Dette vil også ha effekt på arbeidet til RIB, som ikke lenger behøver å produsere manuelle bøyelister. Levering av *BVBS*- og *IFC*-filer vil være den nye måten å håndtere bøyelister for armeringsjern. Dette er igjen med å skape tegningsfrie prosjekter da bøyelister i *Excel* og *PDF* ikke vil være det nødvendige bøyelisteformat.

5.2 Hvem vil få utbytte ved en overgang til tegningsfri prosjektering og utføring?

Ved å sammenligne tidsforbruket av tegningsfri prosjektering i forhold til dagens konvensjonelle prosjektering og utføring er det mulig å finne ut om en overgang vil gi utbytte. Det arbeides med en rekke forskjellige prosjekter som alle har ulik tidsbruk, det vil derfor være vanskelig å sammenligne eksakt tidsforbruk på de forskjellige prosessene. Selv om nye prosesser må utvikles i starten av denne overgangen, kan det tenkes at alle aktører vil kunne oppnå gevinster.

Ved å sammenligne tidsforbruket hos de forskjellige aktørene ved bruk av 3D-modell kontra 2D-tegninger kan det tenkes at en overgang er nødvendig. Hos RIB er det et klart skille mellom tegningsfrie prosjekter sammenlignet med dagens prosjekter. RIB vil kunne spare mye tid på å slippe å lage snitt-, detalj- og plantegninger, noe som anses å ta like lang tid som å produsere en 3D-modell. Denne tiden gjør at RIB er mer effektive i prosjekteringen, og gjør at modellen kan overleveres raskere. RIB vil måtte tilpasse prosessene sine, noe som i starten vil kreve litt ekstra tid til å produsere en mer komplett modell. Denne tidsbruken vil fortsatt være mindre enn ved produksjon av 2D-tegninger. RIB vil i tillegg slippe å lage manuelle bøyelister som produksjonsgrunnlag til armeringsprodusent. Moderne armeringsprodusenter vil ha digitale

systemer som kun trenger levering av *IFC*- og *BVBS*-filer til produksjon. Det gjør at den ferdigstilte modellen ved få tasteklikk kan overføres til både *IFC*- og *BVBS*-formatet. Hos entreprenøren vil det kreve mer tid til håndtering av BIM-programvare på byggeplass i starten. Det kan forekomme mye prøving og feiling ved bruk av programvarer, men ved riktig opplæring vil dette komme etter hvert. Entreprenøren vil få en bedre forståelse av helheten ved bruk av 3D-modell, kontra 2D-tegninger. Bedre forståelse gir mer effektive prosjekter og vil ved riktig opplæring resultere i raskere fremgang. Hos armeringsprodusenten er det mulig å oppnå raskere produksjon, da automatiske armeringssystemer vil ta over mye av den manuelle produksjonen. Innsending av modell i *IFC*-formatet og armeringsjern i *BVBS*-formatet vil føre til mindre manuelle tastetrykk før produksjon, som igjen er med på å korte ledetiden før produksjon. Det vil på en annen side kreve mer tid til kontroll av armeringen fra modell for å unngå feilproduksjon.

Det er en stor investering i både tid og penger for entreprenørselskapene, men det er absolutt nødvendig for å kunne gå over til tegningsfrie prosjekter. Det finnes flere gevinster ved en slik overgang. Ikke bare kan det gi bedre kvalitet på prosjektene, men det gjør også entreprenør firmaet mer attraktivt i en anbudskonkurranse. Digital prosjektering og utførelse er trolig den retningen byggebransjen vil ta i fremtiden. Omstilling av dagens prosesser vil kreve tid, og derfor er mange skeptiske om det vil resultere i en vellykket overgang. De fleste er redde for at tidsbruken i overgangen ikke skal bli tatt igjen i effektivitet i senere prosjekter. En overgang til bruk av digital armering vil gi forskjellige gevinster i forskjellige firma, men det kan dessuten tenkes at det kan gi følgende utbytte.

- **Økt kvalitet av modeller fra RIB:**

1. I form av mer nøyaktig modellering av armering og bærende systemer
2. Kvalitetskontrollerte modeller gjennom regelsjekker
3. Modeller kan gjenbrukes
4. Høyere kvalitet gir større effektivitet og bedre økonomi

- **Økt forståelse mellom aktører:**

1. Unngår misforståelser
2. Bruk av felles samhandlingsformater gir alltid siste og oppdatert revisjon
3. Bruk av prosesstatus som forteller alle aktører hva som er under produksjon, produsert eller ferdigstilt
4. Bedre rutiner for bestilling, logistikk og leveranse

5.3 Hvordan oppnå suksess med tegningsfri prosjekt ved bruk av digital armering?

Suksess i tegningsfrie prosjekt kommer av hvor villige aktørene er til å prøve å feile i starten. Erfaringen ved de fleste prosjekter er at alle ønsker å gjøre prosjekter digitale, men fortsatt går tilbake til den gjennomføring de har brukt i alle år. Alle involverte må være frempå, og kreve bruk av modell i alle faser for at dette skal være mulig. Det kan også være nødvendig å kontraktsfeste

bruk av 3D-modeller på byggeplass mellom aktørene for å understreke at alle prosesser skal foregå ved bruk av modell.

Suksessen starter ved at RIB, entreprenører og armeringsprodusenter endrer dagen prosesser. Dette kan skje i forsøksprosjekter hvor de involverte på forhånd blir enige om å gjøre prosjektet tegningsfrie. Da kan alle ta dette til læring av hva som fungerer bra og mindre bra. Ved gjentatte forsøk finner de involverte metoder som gjør at prosjektene blir mest mulig optimale. Tegningsfrie prosjekter har ingen definerte gjennomføringsmetoder, derfor må hver bedrift må finne ut hva som fungerer best for seg. I fremtiden kan det dukke opp krav om bruk av tegningsfrie prosjekter, og da er det nødvendig at bedrifter starter tidlig med denne overgangen. Ved bruk av forslagene i denne oppgaven kan RIB bidra med å digitalisere dagen prosesser, noe som vil spre seg videre til entreprenørene. Digital armering handler om å utnytte BIM-verktøyene enda mer enn i dag. Da er det viktig å inkludere de foreslåtte parametere. Selv om digital armering bare er en liten del av prosjekteringen, er den knyttet opp mot alt som senere skal gjøres i prosjektet. For prosjekteringen handler om å produsere et bærende system som skal tåle alle påkjenninger.

6. Konklusjon

Resultatene fra caseoppgaven viser tydelig at det foreligger muligheter til å oppnå suksess i tegningsfrie prosjekter. Det er stor sannsynlighet å oppnå gevinst ved digitalisering av dagens prosesser, men i dag er mulighetene begrenset til de involvertes interesser og engasjement. I det lange løp vil både RIB, entreprenør og armeringsprodusent oppnå tidsbesparing ved en overgang. Det vil kreve endringer av dagens prosesser, og særlig for entreprenører. For å kunne lykkes er det nødvendig å kreve opplæring av BIM-verktøy til bruk på byggeplass.

Digital armering har et enormt potensial ved bruk av riktige parametere. Bruk av parameterne forklart i kapittel 4.1 vil være med på å gi utbytte av digital armering for både RIB, entreprenør og armeringsprodusent. De essensielle parameterne er bruk av startnummer og prefiks, fargekoder, leggeplaner, revisjonshåndtering og prosesstatus. RIB vil bruke lengre tid på å lage modell ved å legge til disse parameterne, men vil spare inn denne tiden på å slippe å lage snitt-, plan- og detaljtegninger. Entreprenør vil kunne bruke én komplett modell på byggeplass, noe som vil gjøre at de involverte vil få en bedre forståelse av hva som skal bygges. Armeringsprodusent vil kunne bruke *BVBS*-filer fra modellene til å produsere armering i sine digitale systemer. En overgang til bruk av digital armering er altså nødvendig for å kunne gjennomføre tegningsfrie prosjekter.

Erfaring av casestudiene viser også at en samhandling hvor alle involverte får tidlig delta i møter og ytre sine tanker fungerer best. Tidlige byggemøter skaper en bedre felles forståelse for alle involverte. RIB får bedre forståelse av hvordan både entreprenør og armeringsprodusent arbeider, i tillegg til å få tips og avklaringer av byggetekniske løsninger. I det lange løpet vil dette føre til raskere fremgang, noe som igjen vil gi bedre økonomi for alle parter i prosjektet. En felles forståelse for leveranser, fremgang og bruk av 3D BIM-verktøy er nøkkelen for at prosjekter kan bli tegningsfrie.

Ved bruk av egendefinert sjekklister for tegningsfri prosjektering vil RIB kunne produsere modeller som inneholder viktige parametere som er med på å gjøre modellen mer komplett. Den blir tilpasset overlevering til armeringsprodusent, som bruker modellen til produksjon av armering i sitt digitale system. Modellen blir også tilpasset bruk på byggeplass. Dette gjør at entreprenøren vil få en modell som er enkel å håndtere på håndholdt BIM-verktøy. Alt i alt er det fullt mulig å oppnå suksess ved tegningsfri prosjektering, så lenge de involverte er klar over at det vil kreve prøving og feiling i starten. Det viktigste er å gi tegningsfrie prosjekter ett forsøk, hvor alle involverte er like engasjerte. Det kan derfor tenkes at tegningsfrie prosjekter vil bli mer vanlige i fremtiden.

7. Veien videre

Oppgaven tar for seg bruk av BIM og digitale aspekter for å kunne få til tegningsfrie prosjekter i prosjekteringsfasen. Det finnes også bruk av BIM i fasen etter prosjektering og ferdigstilling. Derfor kan det være interessant å undersøke bruk av modellen og informasjonsgrunnlaget i videre arbeid med forvaltning, drift og vedlikehold.

Videre kan det være interessant å følge med på utviklingen til caseprosjektene. Herunder for å vurdere hva som fungerte og ikke fungerte. Dette fordi prosjektene ikke er ferdigstilt før etter avsluttet masteroppgave.

Det finnes flere muligheter innenfor temaet digital armering enn det som er nevnt i oppgaven. Ett interessant tema for videre forskning kan være å undersøke bruken av digital armering i *Tekla* i forhold til *Revit* og *Naviate*. Bruken av digital armering og BIM-verktøy vil utvikle seg i fremtiden. Dette gjør at det kan være relevant å fokusere på bruken av håndholdte BIM-verktøy og BIM-kiosker, samt om disse verktøyene vil tilpasses bruk på byggeplass.

Oppgaven foreslår en sjekkliste til bruk i tegningsfrie prosjekter for *Sweco*. Det kan da være relevant å undersøke om denne vil bli brukt i fremtidige prosjekter. Det er også mulig å legge til aspekter og utvide bruken av sjekklisten til å gjelde flere faser i prosjekteringen.

8. Referanser

Sweco. (u.å.). Om Sweco. Hentet fra <https://www.sweco.no/om-oss/> [hentet 13/02-19].

Kamstål AS. (u.å.). Om Kamstål AS. Hentet fra <http://kamstal.no/om-oss> [hentet 22/03-19].

Symetri. (2017). Hva er BIM. Hentet fra <https://www.symetri.no/nyheter/hva-er-bim/> [hentet 22/04-2019].

Sarah Construction. (2018, 12/04). BIM: The future of construction. Hentet fra <https://sarah.com.au/building-information-modelling-future-construction/> [Bilde].

Munro, A. (2018, 12/04). BIM: The future of construction. Hentet fra <https://sarah.com.au/building-information-modelling-future-construction/> [hentet 22/04-19].

Norsk betongforening. (2018, 26/10). Armering – prosjektering og utførelse. Hentet fra <https://betong.net/wp-content/uploads/Høringsutkast-Publikasjon-nr.-8-2018-10-26.pdf> [hentet 14/03-19].

Teknisk Ukeblad - bygg. (2018, 17/7). Plasstøpt eller Prefabrikkert betong. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/vaer-tro-mot-ideen-og-strategien-du-har/442113> [hentet 14/03-19].

Kamstål AS. (u.å.). Prefabrikkert armering til tank. Hentet fra <https://www.kamstal.no/project/sykt-bra-prosjekt> [Bilde].

NorgesBIM. (2015, 07/04). Tegningsfrie prosjekter og armering. Hentet fra <http://www.norgesbim.no/2015/07/04/tegningsfrie-prosjekter-og-armering/> [hentet 14/05-19].

ISARC. (2017). IFC-based cut & bent rebar supply chain integration. Hentet fra <https://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2017-Paper019.pdf> [hentet 14/03-19].

ISARC. (2017). IFC-based cut & bent rebar supply chain integration. Hentet fra <https://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2017-Paper019.pdf> [Bilder].

Omega. (u.å.). Pims365. Hentet fra <https://www.omega.no/pims/pims-365> [hentet 08/04-19].

Omega. (u.å.). Pims365. Hentet fra <https://www.omega.no/pims/pims-365> [Bilde].

Graphisoft. (u.å.). Solibri Model Checker. Hentet fra <https://graphisoft.no/andre-produkter/solibri-2/> [hentet 29/03-19].

StreamBIM. (u.å.). StreamBIM. Hentet fra <https://streambim.com/no/bim/> [hentet 08/04-19].

Sverdrup Strand, S. (2016, 07/07). Ny teknologi bringer BIM ut på byggeplass. Hentet fra <http://www.bygg.no/article/1281677> [hentet 14/05-19].

Rufo. (u.å.). Rufo BIM-kiosk. Hentet fra <https://www.rufo.no/products/bim-kiosker> [Bilder].

Norconsults informasjonssystemer. (2017, 21/11). Tilrettelagt BIM gir økt produktivitet og kvalitet. Hentet fra <https://www.nois.no/artikler/bim-og-konstruksjon/2017/kunst--og-designhogskoleprosjektet/> [hentet 23/02-17].

Catenda. (u.å.). Bimsync Arena. Hentet fra <https://catenda.no/products/bimsync-arena> [hentet 14/03-19].

Graphisoft. (u.å.). BIM. Hentet fra <https://graphisoft.no/archicad/bim-og-ifc/> [hentet 14/03-19].

BVBS. (u.å.). BVBS. Hentet fra <https://www.bvbs.de/ueber-den-bvbs/> [hentet 29/03-19].

ISARC. (2016). Interoperability with IFC in the automated rebar fabrication. Hentet fra <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2016-Paper165.pdf> [Bilde].

Smith Stål. (u.å.). Produkter og tjenester - armering. Hentet fra <https://www.smithstal.no/produkter-og-tjenester/armering/> [hentet 14/03-19].

Norsk Stål. (u.å.). Nytt og bedre BIM-system. Hentet fra <https://norskstaal.no/nytt-og-bedre-bim-system/> [hentet 14/03-19].

Nørve, S. (2005). Bedre kontroll over byggevirksomheten? Hentet fra <https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/prosjektrapport-390.pdf> [hentet 15/05-19].

U. Malt. (2015, 4/9). Kvalitativ. Hentet fra <https://snl.no/kvalitativ> [hentet 27/03-19].

Andersen, G. (2019, 31/01). Valg av forskningsmetode. Hentet fra <https://ndla.no/subjects/subject:19/topic:1:195989/topic:1:195829/resource:1:56937> [hentet 03/06-19].

Sander, K. (2017, 25/07). Casestudiet. Hentet fra <https://estudie.no/casestudie/> [hentet 23/04-19].

Helse Stavanger. (u.å.). Om SUS2023. Hentet fra <https://helse-stavanger.no/om-oss/sus2023> [hentet 08/04-19].

Helse Stavanger. (2018, 22/10). Byggeplasskamera fra tomten på Ullandhaug. Hentet fra <https://helse-stavanger.no/om-oss/sus2023/byggeplasskamera-fra-tomten-pa-ullandhaug> [Bilder].

Ledaal Park. (u.å.). Ledaal Park. Hentet fra <https://ledaalpark.no> [hentet 08/04-19].

Ledaal Park. (u.å.). Ledaal Park. Hentet fra <https://ledaalpark.no> [Bilde].

Svartdal, F. (2018, 18/5). Reliabilitet. Hentet fra <https://snl.no/reliabilitet> [hentet 27/03-19].

Dahlum, S. (2018, 20/2). Validitet. Hentet fra <https://snl.no/validitet> [lest 27/03-19].

buildingSMART. (2019, 16/01). Om buildingSMART Norge. Hentet fra <https://buildingsmart.no/bs-norge> [lest 01/04-19].

buildingSMART. (2017, 17/02). Statuskoder og fargekoder. Hentet fra https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi884er5q7hAhVDx4sKHciACy0QFjABegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fbuildingsmart.no%2Fsites%2Fbuildingsmart.no%2Ffiles%2Fbsng_statuskoder-fargekoding_20170217.xlsx&usg=AOvVaw2eMyODE9kpU-15n4b7i5II [Bilde].

Rådgivende ingeniør forening. (u.å.). MMI – Modell Modenhets Indeks. Hentet fra <https://www.rif.no/wp-content/uploads/2018/11/mmi-modell-modenhets-indeks.pdf> [lest 15/03-19].

Rådgivende ingeniør forening. (u.å.). MMI – Modell Modenhets Indeks. Hentet fra <https://www.rif.no/wp-content/uploads/2018/11/mmi-modell-modenhets-indeks.pdf> [Bilde].

9. Vedlegg

Vedlegg 1 – Egendefinert sjekklister for tegningsfri prosjektering

Sjekkliste for tegningsfri prosjektering

Samhandling mellom aktører

Sjekkpunkt	EK	SK	Kommentar
Avtale om tidlig møte med alle involverte			
Modellering etter spesifisering fra entreprenør og armeringsprodusent			

3D Armering

Sjekkpunkt	EK	SK	Kommentar
Støpe/produksjons etapper			
Formkoder etter NS-EN:3766			
Armering etter partisjoner			
Bruk av startnummer og prefiks			
Fargekoder			
Bokstavkoder på armering ("R" = Rull, "S" = Sveist, "L" = Løs)			
Sjekk dimensjoner på armering (optimalisere)			
"Rebar numbering" analyse i <i>Naviate</i>			
MMI klassifisering (ved avtale)			
Produsere leggeplan for avtalte armeringselementer			
Avtale for håndtering av revisjoner (endringsliste)			
Prosesstatus (Forhåndsdefinerte statuser etter fargekoder og klassifisering) [hold, frys, osv.]			
Avtale om hvem og når status i modell oppdateres			
Mulighet for å ta mål i modell			
Sjekk for duplikater			

Bruk av prefabrikkert armering og elementer (Enighet om hva som skal prefabrikeres)

Sjekkpunkt	EK	SK	Kommentar
Heisgrube/er			
Fundament/er			
Dekke/er			
Gulv			
Inner/yttervegg: veggmatter (standard- vs. spesialmatter)			
Bunnplate (med radonduk og waterstop i modell?)			
Søyler			

Prosjektnavn:

Bygningsdel:

Dato:

Begrensninger og krav til normal transport av prefabrikkert armering og elementer

Sjekkpunkt	EK	SK	Kommentar
Tilpass maks høyde til transportkrav			
Tilpass maks bredde til transportkrav			
Tilpass maks lengde til transportkrav			
Tilpass maks vakt til transport og kran			
Modellering og inndeling etter optimalt bestillings- og transportkrav			
Planlegging etter plass på byggeplass (Prefab. vs. stedstøpt)			

System for modellhåndtering

Sjekkpunkt	EK	SK	Kommentar
Felles samhandlingsplattform			
Bruk av BIM-verktøy (BIM-kiosk, BIM-verktøy på nettbrett eller mobil)			
Avtale for innleveringsfrister av modell/er (IFC, BVBS)			
Enighet om mappestruktur i samhandlingsplattform			
System for sakshåndtering (Kollisjoner, krav)			

Overlevering av modell

Sjekkpunkt	EK	SK	Kommentar
Riktig filformat (IFC, BVBS)			
Riktig filnavn			
Sjekk for modellplassering av nullpunkt/origo			
Sjekk for kollisjoner mellom objekter og elementer (Ingen av betydning?)			
Sjekk for modell i håndholdt BIM-verktøy (Er alt på plass, dimensjoner, informasjon)			
Krav til spesifisering på nettbrett/mobil/BIM-kiosk (riktig programvare og håndtering av store modeller)			
Komplett IFC-fil			
BVBS-filer etter støpetapper og inndelinger			
Bøyeliste produsert etter behov (Excel, PDF)			
Avtale om produksjonstid			

Dato og signatur Egenkontroll:**Dato og signatur Sidemannskontroll:**