

Mats Bråten
Erik Nicolai Wold

Digitalisering i byggebransjen

4D BIM og dagens modelleringspraksis

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Frode Drevland

Juni 2020

Forord

Denne masteroppgaven er det avsluttende arbeidet på vårt studie ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Masteroppgaven er utarbeidet i løpet av våren 2020 i forbindelse med faget TBA4910 Prosjektledelse, og har en studiebelastning på 30 studiepoeng. Høsten 2019 skrev vi en fordypningsoppgave som omhandlet 4D BIM, med tittelen «*Hvilken posisjon har 4D BIM i byggebransjen?*». Dette arbeidet bidro til kompetansebygging, i tillegg til å gi inspirasjon til denne masteroppgavens problemstilling.

Masteroppgaven omhandler 4D BIM. Vi ble først introdusert for dette i forbindelse med sommerjobber i Betonmast, der enkelte ansatte la frem 4D BIM som et svært interessant tema. Dette fattet umiddelbart vår interesse, og vi tror arbeidsmetoden kan være med på å forbedre ulike aspekter innen planlegging av byggeprosjekter. Videre digitalisering i den norske byggebransjen er stadig aktuelt, og implementering og bruk av 4D BIM er naturlig å vurdere for mange aktører som et steg videre i digitaliseringsprosessen.

Vi retter en stor takk til vår veileder Frode Drevland, førsteamanuensis ved Institutt for bygg- og miljøteknikk. Drevland har bidratt med gode råd og tett oppfølging i forbindelse med utforming og oppbygging av oppgaven. Svein Rennan, daglig leder i Betonmast Romerike, har vært vår eksterne veileder. Betonmast har hjulpet til med å definere oppgavens problemstilling, samt gitt oss BIM-modeller som vi har fått bruke fritt. Hjelpen har vært god, og vi takker for dette.

Sammendrag

Digitalisering i byggebransjen er meget aktuelt, og kan føre til massive kostnadsbesparelser. Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) har hatt en sentral rolle i digitaliseringen, og arbeidsmetoden brukes nå i de fleste norske byggeprosjekter. Bruk av BIM åpner opp for en digital byggeprosess, der informasjon raskt og enkelt kan utveksles mellom involverte aktører. I en BIM-modell kan en tilføre data om bygningselementers egenskaper, samt data om fremdrift, kostnader, bærekraft og mer. Ved å tilføre informasjon om tid i modellen (fremdrift), får man det som kalles 4D BIM, og det er dette denne masteroppgaven omhandler.

Oppgavens problemstilling er «Hvordan kan man gå frem for å løse utfordringer, og realisere muligheter, tilknyttet 4D BIM i byggebransjen», og tar for seg muligheter og utfordringer tilknyttet implementering og bruk av denne arbeidsmetoden. Videre undersøker oppgaven hvordan man bør modellere for å tilrettelegge for bruk av 4D BIM, samt hvordan arbeidsmetoden kan brukes til riggplanlegging. For å begrense omfanget, har vi valgt å benytte ett utvalgt 4D-verktøy, Synchro Pro. Som et bidrag for å senke brukerterskelen, har vi også utarbeidet et veiledningsdokument til programvaren. Dette er vedlagt oppgaven, og gir grunnleggende forklaringer til Synchro Pro, i tillegg til å beskrive en rekke funksjoner og bruksområder i detalj.

Teorien og resultatene er utarbeidet på bakgrunn av litteratursøk, gjennomgang av diverse dokumenter, i tillegg til egne eksperimenter i programvare. Det er hovedsakelig benyttet et kvalitativt informasjonsgrunnlag, og oppgavens resultater er også av kvalitativ art. Litteraturen er lokalisert etter søk i søkemotorer, gjennomgang av diverse journaler og ved bruk av teknikken *snowballing*. Dokumentstudiet har bestått av tre ulike varianter; bruk av intervjudata fra tidligere forskning, gjennomgang av reelle BIM-modeller fra byggebransjen, samt undersøkelser av diverse brukerveiledninger for programvaren Synchro Pro. Brukerveiledningene var nødvendige for å lære programvaren som har blitt anvendt i eksperimentene. I programvaren har vi kontrollert og verifisert informasjon fra litteraturen, testet funksjoner, og kartlagt hva som er viktig for en BIM-modell som skal brukes til 4D BIM.

Resultatene viser at bruk av 4D BIM har gode muligheter til å forbedre mange ulike aspekter innen byggeprosessen. Visualisering av fremdriftsplanene åpner blant annet opp for utarbeidelse av mer robuste planer, mer effektiv kommunikasjon av planene, og kan fungere godt som et verktøy for prosjektstyring. Dette kan føre til mindre sløsing, og slik kan 4D BIM være en bidragsyter til en mer *Lean* byggeprosess. Det er likevel flere utfordringer som hindrer implementering av 4D BIM, blant annet konservative holdninger, kompetansebehov og mangel på langsiktig tankegang. Når det gjelder hva som kreves av modelleringen for å tilrettelegge for god bruk av 4D BIM, så tyder våre eksperimenter på at dagens krav er tilstrekkelige. Det er blant annet formulert tydelige krav til objektparametrene som anses som viktige, men de undersøkte modellene viste at kravene i alt for liten grad blir fulgt. For implementering av 4D BIM er det derfor viktig at alle prosjekterende er klar over *hva* som skal leveres, og *hvorfor* dette er viktig. Tidlige avklaringer og tydelige defineringer med de ulike prosjektinvolverte er sentralt for å få til dette. I løpet av litteraturstudiet viste det seg at bruk av 4D BIM har et stort potensial til å forbedre ulike aspekter innen riggplanlegging. Programvaren Synchro Pro har blitt utforsket, og den tilbyr en rekke lite ressurskrevende funksjoner som egner seg til slik bruk. Dette bringer med seg flere fordeler, deriblant en ryddigere og tryggere byggeplass. Vi anser derfor riggplanlegging som et fornuftig sted å starte implementeringen av 4D BIM, ettersom dette krever lite av både modelleringen og brukernes kompetanse.

Abstract

Further digitalization of the construction industry is very relevant and can lead to massive cost savings. Building Information Modelling (BIM) plays a pivotal role in digitizing the industry and is now being used in most Norwegian construction projects. Use of BIM technology enables a digital construction process, where information can be exchanged in a quick and simple matter, between the contributors of a project. In a building information model, you can include details on the properties of each building element, as well as data on progress, costs, sustainability and more. Adding information about time to the BIM model (progress), results in a «4D BIM», which is the topic of this master's thesis.

This thesis' topic is «What measures should be taken in order to solve challenges and realise opportunities with 4D BIM in the construction industry?». The work delves into the possibilities and challenges connected to 4D BIM, as well as to how the modelling should be done to effectively use this work process. Furthermore, one of the possibilities is examined in detail: How 4D BIM can be used in site operations management. To confine the scope of this thesis, the experiments are limited to merely use one 4D software, Synchro Pro. As a means to lower the user threshold for 4D BIM, we have also developed a manual with detailed instructions for the use of this software, which can be found in the Appendix.

The theoretical knowledge and the results of this thesis have been found through a literature review, assessments of various documents, as well as experiments in Synchro Pro. The knowledge presented, both from the background theory and in the results, can be predominantly classified as qualitative. The literature has have been found through search engines, probing of multiple scientific journals, and *snowballing*. The document study can be split into three parts; use of raw interview data from previous research, exploration of real BIM-models from the construction industry, and finally a study of different tutorial files, documents and videos for Synchro Pro. The tutorials were needed to learn the software from which we have conducted the experiments. Through these experiments, we have checked and verified the information provided in the literature, and tested multiple features. Additionally, we used the experiments to map out which parameters in a BIM model that are important if the model is to be used for 4D BIM.

The results show that use of 4D BIM brings many opportunities, which can improve different parts of the construction process. Visualisation of project schedules can lead to, among other things, them becoming more robust, more effective communication of said schedules, as well as a tool for improved project management. This can instigate a reduction of waste, and thus, 4D BIM can be an important contributor towards a more Lean-compliant construction process. Nevertheless, there are several challenges that hamper the use of 4D BIM. Conservative mindsets, competence needs and a lack of long-term thinking are among those that stand out. As to what is necessary from the modelling to facilitate adequate use of 4D BIM, our experiments indicate that following today's requirements are sufficient. Explicit requirements are formulated with regard to important object parameters, but our experiment shows that these demands are followed to an insufficient degree. Thus, if 4D BIM is to be widely implemented, it is imperative that everyone on the design team is fully aware of what they are obliged to deliver, and also why this is important. In the early stages of our literature review, site operations planning with 4D BIM showed great potential. We explored this use with Synchro Pro, which offers a range of low-effort features suited to this type of planning. This brings several benefits, including a cleaner and safer construction site. We therefore consider site operations planning as a great starting point for implementation of 4D BIM, as it requires less of both modelling and user expertise.

Innhold

1	Introduksjon	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Problemstilling og forskningsspørsmål	1
1.3	Avgrensninger	2
1.4	Oppgavens oppbygning	2
2	Metode	3
2.1	Metodeteori	3
2.1.1	Induktiv versus deduktiv forskning	3
2.1.2	Kvalitativ versus kvantitativ	4
2.1.3	Reliabilitet og validitet	4
2.2	Valg av metoder	5
2.2.1	Forskningsmetoder	5
2.2.2	Tilnærminger til de ulike forskningsspørsmålene	6
2.3	Bruk av metoder	8
2.3.1	Litteraturstudie	8
2.3.2	Dokumentstudie	11
2.3.3	Eksperimenter i programvaren Synchro Pro	12
2.4	Klassifisering og vurdering av metodene	14
2.4.1	Litteraturstudie	14
2.4.2	Dokumentstudie	15
2.4.3	Eksperimenter i Synchro Pro	17
2.5	Reliabilitet og validitet	17
2.5.1	Forskingsspørsmål 1	17
2.5.2	Forskingsspørsmål 2	19
2.5.3	Forskingsspørsmål 3	19
2.5.4	Forskingsspørsmål 4	21
3	Teoretisk rammeverk	22
3.1	Byggeprosjekter	22
3.1.1	Hva er et prosjekt?	22
3.1.2	Karakteristikker til byggeprosjekter	22
3.1.3	Faser og prosesser i byggeprosjekter	23
3.1.4	Ulike perspektiver og involverte i byggeprosjekter	24
3.2	Fremdriftsplanlegging	24
3.2.1	Aktivitetsbasert planlegging	25
3.2.2	Lokasjonsbasert planlegging	26
3.2.3	The Last Planner System	27
3.3	Lean	29
3.3.1	Lean Construction	30

3.4	Standardisering	32
4	BIM og 4D BIM	33
4.1	BIM	33
4.1.1	Dimensjoner i en BIM-modell	34
4.1.2	Modelldetalj	34
4.1.3	Kobling mellom BIM og Lean	36
4.1.4	BIM-standarder	37
4.2	4D BIM	40
4.2.1	Hvordan brukes 4D BIM og hva er oppfatningene om hvor det er nyttig?	42
4.2.2	Anvendt programvare - Synchro Pro	46
5	Resultater	48
5.1	Hva er mulighetene ved å bruke 4D BIM?	48
5.2	Hvilke utfordringer knyttes til 4D BIM?	53
5.3	Dagens modelleringskrav og -praksis	55
5.3.1	Dagens modelleringskrav og -anbefalinger	55
5.3.2	Dagens modelleringspraksis	58
5.4	Hvordan kan Synchro Pro brukes i riggplanlegging?	63
5.4.1	Importere et kartbilde og plassere kartet i henhold til modellen	64
5.4.2	Importere og plassere midlertidige objekter	65
5.4.3	Modellere enkle objekter direkte i programvaren	68
5.4.4	Tilegne bevegelser til maskiner og utstyr	69
5.4.5	Vurdere alternative gjennomføringer	74
6	Diskusjon	75
6.1	Hva er mulighetene ved å bruke 4D BIM?	75
6.2	Hvilke utfordringer er tilknyttet 4D BIM?	79
6.3	Hvordan bør det modelleres for å tilrettelegge for bruk av 4D BIM?	82
6.3.1	Hva er viktig for å bruke Synchro Pro til 4D BIM?	82
6.3.2	Hvordan svarer dagens krav til dette?	85
6.3.3	Dagens krav og anbefalinger er tilstrekkelige	87
6.4	Hvordan kan 4D BIM brukes til riggplanlegging?	89
6.4.1	Erfaringer tilknyttet tidligere presenterte løsninger på ulike aspekter	89
6.4.2	Effekter og bruksområder av en riggplan utarbeidet med 4D BIM	91
7	Konklusjon	94
8	Videre arbeid	95
	Vedlegg	102

Figurer

1	Opprettelse av ressurser og hvordan ressurstreet blir ved ulike valg.	13
2	Byggeprosessens generiske faser og prosesser, basert på Eikeland (1999, s. 36)	23
3	Eksempel på et Gantt-diagram (Ramstad 2011).	25
4	Eksempel på skråstreksplanlegging. De røde sirklene representerer potensielle kollisjoner, altså der det er planlagt flere arbeider på samme sted til samme tid. Stigningstallet på strekene forteller hvor raskt gjennomføringen er planlagt (Trimble 2016).	26
5	Illustrasjon av Last Planner-systemet, basert på Richert (2017)	29
6	Leans fire hovednivåer, basert på Liker (2004), gjengitt av Moore (2007, s. 142)	30
7	Eksempler på sløsing i byggebransjen, basert på Barreth (n.d.)	31
8	Forslag til MMI-prosess med tilhørende MMI-nivåer, basert på Fløisbonn et al. (2018, s. 4)	36
9	Illustrasjon av forskjellen mellom proprietære og åpne standarder.	37
10	Illustrativt eksempel på hvordan en vegg (IfcWall) er plassert i IFC-hierarkiet, basert på informasjon fra buildingSMART (2020) og Akin (2011, s. 129)	38
11	Prinsippskisse for sammenslåing av 3D-modell og fremdriftsplan til en 4D-modell, basert på Eastman et al. (2011, s. 230).	40
12	Vekstsimulering av graveetapper (Bogen 2018, s. 54).	41
13	Kartlegging av utbredelsen til bruk av 4D BIM tilknyttet planlegging, i Storbritannia, basert på Gledson & Greenwood (2016).	43
14	Kartlegging av hvilke områder innen riggplanlegging 4D BIM er brukt til, i Storbritannia, basert på Gledson & Greenwood (2016).	43
15	Hva 4D BIM er brukt til i byggeprosjekter (til venstre) i Storbritannia og hvilke roller deltakerne i undersøkelsen har, basert på Butkovic et al. (2019).	45
16	Eksempel på simulering og sammenligning av to ulike planer (sekvensiell versus parallell montasje av stål) i Synchro Pro.	49
17	Eksempel på visualisering av riggplass med blant annet betong- og pumpebil (Hauken & Frøisland 2019).	50
18	Eksempler på HMS objekter som kan plasseres ut i modellen (Synchro 2015).	50
19	Eksempel på utplassering av HMS objekter som indikerer risiko for fall fra tak. Når risikoen ikke lenger er til stede, fjernes også symbolene (Synchro 2015).	51
20	Objekter i en reell BIM-modell som er merket som IfcSlab.	58
21	En betongtrapp som er merket med ifcSlab, en typisk «feil» ifølge Statsbygg (2019b, s. 23).	59
22	El-installasjoner og rør på et prosjekt	60
23	Eksempel på hyppig bruk av IfcBuildingElementProxy, og dårlig modelleringspraksis.	61
24	Prosjekt før og etter importering av kart som grunnlag.	64
25	Eksempel på et prosjekt hvor det er importert maskiner og midlertidige riggobjekter.	65
26	Opprettelse av ressurser og hvordan ressurstreet blir ved ulike valg.	66
27	Redigering av 3D objekter ved bruk av Advanced Manipulator.	67
28	Containere som er modellert direkte i Synchro og tilegnet tekst. Her vises også lastebilen som skal bytte en container, samt en del av dens kjørerute som er opprettet ved å bruke 3D Paths funksjonen.	68

29	Hvordan lage en 3D Path.	70
30	Hvordan sammenkoble en 3D Path med ressurs.	71
31	Hvordan redigere koordinatene til en 3D Path.	72
32	3D Path, eksempel 2: Containerbil som ankommer prosjektet fra hovedveien, rygger inn og skifter en avfallscontainer før den forlater prosjektet.	73
33	3D Path, Eksempel 3: Tårnkran som roterer mellom ulike soner på bygget og lastesonen (L). Her vises et utklipp av noen keyframes for tårnkranene ved ulike tidpunkter. Her er posisjonene tilpasset tidpunktene som er angitt de ulike aktivitetene.	73
34	Eksempel på grafisk simulering og sammenligning av to ulike planer (sekvensiell versus parallell montasje av stål) i Synchron Pro.	74

Tabeller

1	Oppgavens videre oppbygning.	2
2	Oversikt over hvilke fremgangsmetoder som er benyttet for å besvare de ulike forsknings-spørsmålene.	5
3	Eksempler på søkeord og resultater	9
4	Oversikt over ulike LoG-nivåer og hva de kan brukes til (Statsbygg 2019b, s. 19-20).	35
5	Forslag til bruk av MMI-nivåer, med tilhørende beskrivelser, basert på (Fløisbonn et al. 2018, s. 4).	36
6	Eksempel på navnsetting i henhold til NS 8351 Byggetegninger (SN 2010, s. 3)	39
7	Eksempler på detaljeringsgrader som 4D-modeller kan ha for å være tilpasset ulike bruks-områder (Schimpf 2019).	42
8	Rangering av tradisjonell planlegging kontra å bruke 4D BIM, innen gitte aspekter i planleggingsprosesser (Gledson & Greenwood 2016).	44
9	Rangering av tradisjonell planlegging kontra å bruke 4D BIM, innen gitte steg i planleggingsprosessen (Gledson & Greenwood 2016).	44
10	Faktorer man ifølge Eastman et al. (2011, s. 231-232) bør ta hensyn til når man velger 4D-programvare, og hva Synchron Pro 2018 tilbyr på bakgrunn av (Synchron 2018) og (?).	47
11	Muligheter og utfordringer som kan knyttes til 4D BIM	48
12	Eksempel på ansvarsfordeling av modellering av ulike bygningsdeler (Hjerpaasen et al. 2018, s. 15)	62
13	Eksempler på hvordan 4D BIM kan være med å gjøre byggebransjen mer Lean.	77
14	Hvilke beskrivelser av objekter i en BIM-modell er viktige, og hvorfor?	83
15	Hvordan svarer dagens krav til de viktige egenskapene objekter bør ha?	85
16	Oversikt over sentrale funn til de ulike forskningsspørsmålene	94

1 Introduksjon

Dette kapitlet introduserer masteroppgavens tema, og tar for seg bakgrunnen for oppgaven, dens problemstilling og forskningsspørsmål, de avgrensninger som er gjort, og en beskrivelse av oppgavens oppbygning.

1.1 Bakgrunn

Digitalisering er en av dagens globale megatrender, som omformer samfunn og næringer (BNL 2017). Bygge-, anleggs- og eiendomsnæringen er Norges største fastlandsnæring, og gevinstpotensialet ved å digitalisere næringen er beregnet til opp mot 100 milliarder kroner årlig. Byggherrer og prosjekteiere er ansvarlige for å stille krav til digitale leveranser, og ifølge BNL (2017) skal dette gjøres ved å bestille en «digital byggeprosess».

En arbeidsmetode som bidrar til å gjøre byggeprosessen digital er bygningsinformasjonsmodellering (BIM). En BIM-modell viser en bygnings geometri, sammen med tilført informasjon om byggets ulike elementer (Eastman et al. 2011, s. 1). Blant annet kan fremdrift, kostnader, bærekraft og FDV-informasjon inkluderes i modellen (Smith 2014a). I en BIM-modell kan man samle og utveksle informasjon, slik at alle involverte aktører har tilgang på det de behøver til enhver tid (buildingSMART 2019). Denne informasjonsutvekslingen åpner opp for en digital byggeprosess, der alt kan planlegges og prosjekteres digitalt, *før* det bygges på en «digital byggeplass» (BNL 2017).

På den digitale byggeplassen vil det være mulighet for å teste, simulere og analysere det som skal bygges og dets funksjoner før byggingen starter (BNL 2017). 4D BIM muliggjør fremdriftssimuleringer av byggeprosessen ved at man tilføyer tidsinformasjon til 3D-objektene i BIM-modellen. Muligheten til å integrere fremdriftsplaner i BIM-modeller kan spores tilbake til 1980-tallet, og arbeidsmetoden høster mye positiv omtale (Gledson & Greenwood 2016). Til tross for at teknologien er tilgjengelig, benytter dagens byggebransje seg i liten grad av den (Torres-Calderon et al. 2019). Derfor er det interessant å studere årsaker til dette, samt hva som er nødvendig for en vellykket implementeringsprosess.

1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Problemstilling er utarbeidet med bakgrunn i et ønske om å adressere årsaker til at 4D BIM er lite implementert i dagens byggebransje, samt hvorfor og hvordan bruk av 4D BIM kan være fordelaktig. Problemstillingen for dette arbeidet er:

Hvordan kan man gå frem for å løse utfordringer, og realisere muligheter, tilknyttet 4D BIM i byggebransjen?

For å kunne besvare problemstillingen, har vi utarbeidet fire forskningsspørsmål. De to første belyser muligheter og utfordringer ved 4D BIM, og er valgt for å gi en helhetlig forståelse for arbeidsmetoden. Videre har vi valgt å gjøre et dypdykk i én av utfordringene, og forsøkt å finne en løsning på denne. For å konkretisere mulighetene, er i tillegg en av disse studert i detalj. På bakgrunn av dette, er det formulert følgende forskningsspørsmål:

1. Hva er mulighetene ved å bruke 4D BIM?
2. Hvilke utfordringer er tilknyttet 4D BIM?
3. Hvordan bør det modelleres for å tilrettelegge for bruk av 4D BIM?
4. Hvordan kan 4D BIM brukes til riggplanlegging?

1.3 Avgrensninger

Det er mulig å skrive mye om dagens modelleringspraksis, bransjestandarder og hvorvidt dette fungerer for BIM generelt. I denne oppgaven har vi begrenset undersøkelsene til å kun omhandle de BIM-krav vi mener er relevante for 4D BIM.

For å svare på forskningsspørsmål 3 og 4 har vi utført eksperimenter i programvare. Det ville vært for omfattende å utføre eksperimenter i alle tilgjengelige 4D-verktøy, derfor valgte vi å begrense oss til ett verktøy, Synchro Pro. Synchro Pro fremsto som den mest populære 4D-programvaren i Norge, og valget falt da naturlig på denne. Synchro tilbyr en rekke moduler, som til sammen utgjør deres 4D-plattform. Blant annet har de moduler for fremdriftsplanlegging og -oppfølging. Våre eksperimenter omfatter kun Pro-modulen, som brukes til selve utarbeidelsen av 4D-modeller. Det må likevel påpekes at Synchro Pro er en av flere tilgjengelige 4D-programvarer, og de ulike alternativene har mange likheter (men praktisk arbeid i de ulike programvarene vil selvsagt variere). Derfor vil våre konklusjoner angående modelleringskrav, også være gjeldende for andre programvarer, og begrenses ikke *kun* til Synchro Pro.

Vår lisens til programvaren var begrenset til å kun tillate 125 aktiviteter i fremdriftsplanen. Dette har ført til at importering og behandling av store fremdriftsplaner har vært umulig. Derfor fokuserer oppgaven på modelleringsdelen av 4D BIM, og tar mindre hensyn til forhold knyttet til fremdriftsplaner i programvaren.

1.4 Oppgavens oppbygning

Hittil har bakgrunnen for oppgaven, oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål, samt de avgrensningene som er gjort, blitt presentert. Tabell 1 viser oppgavens videre oppbygning.

Tabell 1: Oppgavens videre oppbygning.

Kapittel	Innhold
2 - Metode	Presenterer og beskriver våre benyttede fremgangsmetoder, i tillegg til å vurdere dem.
3 - Teoretisk rammeverk	Gjengir bakgrunnsteori knyttet til byggeprosjekter, fremdriftsplanlegging, Lean og standardisering, som leseren bør være inneforstått med før videre lesing.
4 - BIM og 4D BIM	Forklarer relevant informasjon om BIM og 4D BIM, som er direkte knyttet til problemstillingen.
5 - Resultater	Legger frem resultater fra undersøkelsene på en objektiv måte. Disse resultatene er relevante for problemstillingen, og er brukt som grunnlag til å besvare forskningsspørsmålene.
6 - Diskusjon	Drøfter og vurderer resultatene opp mot forskningsspørsmålene. Det må påpekes at noe av diskusjonen i kapittel 6.3 kan ses på som resultat, spesielt tabell 14 og tabell 15. Dette er inkludert i diskusjonen for å oppnå best mulig flyt og struktur i teksten.
7 - Konklusjon	Svarer på problemstillingen basert på den foretatte diskusjonen.
8 - Videre arbeid	Legger frem forslag til temaer som ikke er omfattet av denne masteroppgaven, men som vi mener bør undersøkes.
Vedlegg	Vårt utarbeidede veiledningsdokument, der funksjoner i Synchro Pro er forklart og fremvist med konkrete eksempler.

2 Metode

Metoden er redskapet vårt i møte med noe vi vil undersøke (Dalland 2012, s. 112-114). Den hjelper oss blant annet til å samle inn data, det vil si den informasjonen vi trenger til undersøkelsen vår. Metode kan også beskrives som det å følge en viss vei mot et mål. Forskeren utfordres til å beskrive denne veien og redegjøre for de valgene som er tatt underveis mot målet.

Dette kapittelet beskriver metodene vi har benyttet for å innhente og vurdere data til å belyse problemstillingen og besvare forskningsspørsmålene. Kapittel 2.1 beskriver generell teori tilknyttet ulike vitenskapelige metoder og terminologier, deretter blir metodevalgene for de ulike forskningsspørsmålene presentert og begrunnet i kapittel 2.2. Kapittel 2.3 beskriver hvordan vi konkret har arbeidet med de ulike metodene. I kapittel 2.4 blir metodene klassifisert og evaluert, før det blir foretatt vurdering av reliabilitet og validitet i kapittel 2.5.

2.1 Metodeteori

Innen forskning kan man benytte ulike metoder både for å samle inn data og for å analysere dataene i etterkant (Dahlum 2015). Forskningsmetoden refererer altså til den fremgangsmåten som benyttes i vitenskapelig forskning. Dette kapittelet forklarer ulike forskningsmetoder og definerer noen sentrale begreper innen forskningsmetodikk.

2.1.1 Induktiv versus deduktiv forskning

Induktiv forskning er forskning hvor utgangspunktet er observasjoner av empiriske fenomener (Nyeng 2012, s. 59-60). Man studerer virkeligheten for å danne seg et mest mulig korrekt bilde av den, uten at man legger bestemte forventninger eller presise hypoteser til grunn for arbeidet. En hypotese er en konkret antagelse om et faktisk forhold eller en årsaksforbindelse, og forutsetter at man allerede har et godt bilde av det man studerer. Underveis i den induktive forskningen utarbeider man i stedet såkalte arbeidshypoteser som man forsøker å finne støtte for, slik at man etter hvert eventuelt kan utvikle mer generelle oppfatninger om hvordan ting ser ut og henger sammen. Induksjon er slik sett en prosess hvor man observerer virkeligheten for å bygge opp, forfine og forsterke faglige standpunkt. Induktiv forskning innebærer å bevege seg fra empiri til teori.

Deduktiv forskning er preget av den motsatte bevegelsen, altså fra teori til empiri (Nyeng 2012, s. 59-60). Man undersøker hvorvidt en antagelse som er utledet fra en eksisterende teori, gjerne formulert som en mest mulig presis hypotese, stemmer overens med virkeligheten. Med deduktiv forskning mener man altså teori- eller hypotesetestende forskning. Det forutsetter med andre ord at man allerede har en etablert teori som danner utgangspunkt for datainnsamling og analyse. Som regel blir fremgangsmåten i slik forskning omtalt som hypotetisk-deduktiv metode. Å teste og forbedre bestemte deler av en teori er derfor den deduktive tilnærmingens mest vanlige oppgave.

En måte å beskrive forskjellen på, er ved å plassere teori hengende over empirisk grunnlag, på samme måte som et kart kan holdes over et landskap (Nyeng 2012, s. 59-60). Bruk av den induktive metoden gir kunnskap og data om landskapet, som trengs for å tegne kartet. Ved å bruke deduktiv metode kan man legge kartet over landskapet, for å teste hvorvidt former i landskapet faktisk stemmer overens med kartet.

2.1.2 Kvalitativ versus kvantitativ

Når man skal velge forskningsmetode, står man mellom to ulike hovedtilnærminger; kvalitativ og kvantitativ metode (Samset 2014, s.169-182).

Kvalitative metoder tar sikte på å fange opp meninger og opplevelser som ikke lar seg tallfeste eller måle (Dalland 2012, s. 112). Disse metodene baserer seg på muntlig eller tekstlig informasjon, og har helhetsforståelsen som mål (Samset 2014, s.169-182). Slik kvalitativ informasjon er vårt viktigste grunnlag for kommunikasjon, den kan genereres raskt og er nødvendig for å gi en helhetsbeskrivelse av komplekse forhold der det inngår mange påvirkningsfaktorer. Hovedproblemer er at presisjonen og etterprøvbareheten er begrenset. Kvalitativ informasjon er også preget/avhengig av individers tolkningsevner og det kan derfor oppstå misforståelser og troverdighetsproblemer. I mange tilfeller er det likevel mulig å klassifisere tekstlig informasjon med relativt høy oppløsning, for eksempel beskriver utsagnet «Helt sikkert» en større sannsynlighet enn utsagnet «Fullt mulig».

Kvantitative metoder har den fordelen at de gir data i form av målbare enheter (Dalland 2012, s. 112). Tallene gir oss mulighet til å foreta regneoperasjoner og metodene benytter seg av tallbaserte, statistiske, etterprøvbare data. Informasjonen som ligger til grunn er da *kvantifiserbar*, eller målbar. Samset (2014, s.169-182) skriver at tallbasert informasjon er mer egnet enn tekstlig informasjon til en systematisk analyse som kan gi grunnlag for generalisering eller påvisning av samsvar med stor grad av sannsynlighet. For at slik statistisk bearbeiding skal være mulig, er det dog en forutsetning at informasjonen er kvantitativ, og på intervall- (rangordning + differanse) eller helst rasionivå (rangordning + differanse + ratio).

Det er i praksis ikke et spørsmål om enten eller ved valg av metode, men både og (Samset 2014, s.169-182). Kvalitative vurderinger hjelper for å beskrive helheten, mens kvantitativ informasjon gir beskrivelsen presisjon.

2.1.3 Reliabilitet og validitet

Ved vurdering av kvaliteten og styrken til en forskningsmetode er det to aspekter som må vurderes; reliabilitet og validitet.

Reliabilitet handler om hvor robust en undersøkelse eller en konkret måling er, eller sagt med andre ord, om dataene er tillitvekkende eller til å stole på (Nyeng 2012, s. 105-106). Vi kan også kalle det nøyaktighet eller målesikkerhet. Reliabilitet handler om å gjøre gode målinger av det man har valgt å måle, men sikrer ikke at resultatene er relevante for å svare på problemstillingen.

Validitet handler om at man undersøker det man ønsker å undersøke, og ikke noe annet (Nyeng 2012, s. 109). Selv om dette høres selvsagt ut, skal vi huske at dette er et ideal å strebe etter, og ikke et absolutt krav som må oppfylles. Empiriske data har verdi selv om de ikke er 100% gyldige, ettersom det sjelden eller aldri er slik at man oppnår fullkomment valide resultater. Når man forsøker å innhente data om et bestemt fenomen, vil man nemlig aldri kunne være sikker på at man samtidig ikke får med noe mer og annet som gjør dataene urene.

2.2 Valg av metoder

For å kunne gi svar på forskningsspørsmålene som ble presentert i kapittel 1, har vi benyttet flere ulike forskningsmetoder, se tabell 2. Senere i delkapittelet beskriver vi *hva* disse metodene er og *hvorfor* de er valgt.

Tabell 2: Oversikt over hvilke fremgangsmetoder som er benyttet for å besvare de ulike forskningsspørsmålene.

Forskningsspørsmål	Litteraturstudie	Dokumentstudie			Eksperimenter
		Intervjuer	BIMmodeller	Brukerveiledninger	
Hva er mulighetene ved å bruke 4D BIM?	X	X			
Hvilke utfordringer er tilknyttet 4D BIM?	X	X			
Hvordan bør det modelleres for å tilrettelegge for bruk av 4D BIM?	X		X	X	X
Hvordan kan 4D BIM brukes til riggplanlegging?	(x)			X	X

2.2.1 Forskningsmetoder

Delen delen redegjør for de benyttede forskningsmetodene, som altså er litteraturstudie, dokumentstudie og eksperimenter i programvare.

Litteraturstudie

En litteraturstudie er en studie som systematiserer kunnskap fra skriftlige kilder (Thidemann 2015, s. 79-80). Det innebærer å samle inn litteratur, gå kritisk gjennom den, og til slutt sammenfatte det hele. Et grunnleggende prinsipp for den typen faglig arbeid som en masteroppgave innebærer, og for så vidt forskning generelt, er at slikt arbeid er kollektivt (Everett & Furseth 2012, s. 66). Å skrive en masteroppgave innebærer at en tar utgangspunkt i den viten andre har kommet frem til, som en så søker å videreutvikle. For å finne frem til eksisterende kunnskap, har vi benyttet oss av litteraturstudie som metode. Thidemann (2015, s. 81) skiller mellom systematiske og allmenne litteraturstudier. Det systematiske litteraturstudiet innebærer en granskning av «alle» studiene som er publisert innen et smalt og veldefinert forskningsområde. Allmenne litteraturstudier tar i større grad sikte på opparbeidelsen av et helhetlig overblikk og man analyserer *et antall* utvalgte artikler.

Dokumentstudie

Dokumentstudier er studier som hovedsaklig bruker dokumenter som er produsert for andre formål enn forskning (Tjora 2010, s. 144-145). Ved å analysere ulike allerede eksisterende dokumenter kan en skaffe seg informasjon om saksforhold som er nedtegnet på bestemte tider og steder, med ulike formål. Dokumentstudier blir tradisjonelt oppfattet som såkalte ikke-påtrengende metoder, hvor man genererer empiriske data uten å involvere ikke-forskende deltakere. I denne oppgaven er det benyttet forskjellige varianter av dokumentstudie; både bruk av datagrunnlag som er ment for forskning og ikke. De ulike variantene er *gjennomsnitt av intervjudata, gjennomgang av BIM-modeller fra bransjen og bruk av ulike veiledningsdata for å lære programvare*. Deler av dette arbeidet kunne like gjerne vært klassifisert som litteraturstudie, og det er

vanskelig å definere et eksakt skille mellom metodene. Vi har valgt å definere det overnevnte som dokumentstudie, mens innhenting og behandling av modelleringskrav og -anbefalinger er regnet som litteraturstudie fordi dette arbeidet har foregått vesentlig mer strukturert og med strengere kildekritikk.

Eksperimenter

Å eksperimentere forbinder vi med det å leke, prøve ut ting og ganske så uforpliktende teste hvordan ting virker (Nyeng 2012, s. 129). I forskningen er et eksperiment noe langt mer strukturert og nøye planlagt. Man ønsker å oppnå så stor grad av kontroll, at man i ettertid kan være så sikker som mulig på hva man har funnet (eller ikke funnet). Det er ofte når man ønsker å vite effekten av ulike praktiske tiltak, at man har behov for å isolere årsaker og virkninger. Det er ingen andre forskningsmetoder som gir forskerne grunnlag for å si at de har funnet en reell årsakssammenheng, fordi det er kun eksperimenter som gjør det mulig å isolere effekten av en bestemt forklaringsfaktor. Bruk av den eksperimentelle metoden i denne oppgaven knytter seg til vårt arbeid i programvaren Synchro Pro 2018.

2.2.2 Tilnæringer til de ulike forskningsspørsmålene

Denne delen beskriver *hvorfor* vi har valgt de aktuelle sammensetningene av metoder for å besvare de ulike forskningsspørsmålene.

Forskningsspørsmål 1 - Hva er mulighetene ved å bruke 4D BIM?

Det finnes mange publikasjoner om 4D BIM. Litteraturen oppsummerer kunnskapen, den er lett tilgjengelig, kan genereres raskt og krever ikke direkte tilgang på kompetente personer. Svaret på dette spørsmålet baserer seg i hovedsak på bruk av denne litteraturen.

I tillegg til litteraturstudie, har vi gjort et dypdykk i data fra tidligere utførte intervjuer. I løpet av litteraturstudiet ble det nemlig funnet en rekke norske bachelor- og masteroppgaver som omtaler 4D BIM. Mange av disse har foretatt intervjuer, og spesielt én utmerket seg som relevant for oss: *4D i den norske byggebransjen* (Bjørnstad et al. 2019). Deres intervjuguide egner seg for å besvare våre forskningsspørsmål og problemstilling. Intervjuene er foretatt med interessante personer, og vi anser informasjonen som oppdatert (fra 2019). Sammendrag fra alle intervjuene som ble utført er også vedlagt oppgaven. Etter en vurdering kom vi frem til at eventuelle intervjuer vi ville ha foretatt, sannsynligvis ville foregått med lignende intervjuobjekter, og med mange tilsvarende spørsmål. På bakgrunn av dette besluttet vi å bruke resultatene fra intervjuene til Bjørnstad et al. (2019), fremfor å utføre egne intervjuer. Dermed har vi ikke hatt behov for å oppsøke primærkilder, og har raskt kunnet generere relativt oppdaterte oppfatninger fra bransjen. Vi har altså utført et dokumentstudie av intervjudataene.

Forskningsspørsmål 2 - Hvilke utfordringer er tilknyttet 4D BIM?

For å besvare dette forskningsspørsmålet har vi hatt den samme tilnærmingen som for forskningsspørsmål 1, og årsakene er de samme. Det er mye tilgjengelig litteratur om dette, og intervjusammendragene fra Bjørnstad et al. (2019) er relevante også for dette forskningsspørsmålet.

Forskningsspørsmål 3 - Hvordan bør det modelleres for å tilrettelegge for bruk av 4D BIM?

For å gi svar på hvordan det bør modelleres for å tilrettelegge for en overgang til 4D BIM med Synchro Pro som programvare, har vi brukt flere metoder. Det er sentralt med kunnskap om oppbygning av modeller

og hvilke parametere de bør inneholde. For å kartlegge hva det er rimelig å forvente, eller kreve, av dagens 3D-modeller, har vi studert litteraturen for å finne modelleringskrav, -standarder og -anbefalinger. Videre har vi benyttet en variant av dokumentstudie hvor vi har gjennomgått reelle 3D BIM-modeller fra bransjen. Dette er gjort for å kunne evaluere hvorvidt dagens modelleringskrav, -standarder og -anbefalinger blir fulgt.

Vi ønsket å evaluere dagens krav og praksis opp mot hva som er nødvendig for å gå fra 3D- til 4D BIM. For å bedre kunne evaluere dagens modelleringskrav mot 4D BIM, samt for å kunne komme med forslag til eventuelt nye retningslinjer, så vi på det som en stor fordel å ha praktisk forståelse for hvordan programvaren fungerer. Et alternativ kunne vært å utføre intervjuer, men uten praktiske kunnskaper i programvaren, ville det vært vanskelig for oss å vurdere resultatene. Derfor har vi brukt en del tid på å lære oss 4D-programvaren Synchro Pro. Opplæringen kan sees på som en variant av dokumentstudie, der vi har undersøkt ulike typer veiledninger til programvaren. Vi har også utført eksperimenter i programvaren. Ved å isolere ulike parametere, faktorer og funksjoner har vi kunnet utføre tester av hvordan ulik objektinformasjon spiller inn for utarbeidelsen av 4D-modeller. Samtidig har vi kunnet beholde kontroll over hvilke resultater man kan forvente ved ulike innstillinger og valg i programvaren. Synchro Pro ble valgt som programvare på bakgrunn av at det fremstod som det mest populære 4D-verktøyet i Norge etter litteratur- og dokumentstudiet, samt at det oppfyller de krav man bør stille til en 4D-programvare.

Forskningsspørsmål 4 - Hvordan kan 4D BIM brukes til riggplanlegging?

Riggplanlegging ble tidlig sett på som et område der bruk av 4D BIM kan egne seg godt. Vi fikk mange ideer da vi arbeidet med fordypningsoppgaven høsten 2019, samt i løpet av litteraturstudiet i forbindelse med de andre forskningsspørsmålene. Litteraturstudie som metode har ikke vært sentralt for vår tilnærming til dette spørsmålet, men det ble brukt som metode for å svare på forskningsspørsmål 1 vedrørende muligheter ved bruk av 4D BIM. Disse resultatene har dannet grunnlaget for hvilke «problemer» vi har forsøkt å løse i programvaren. Litteraturstudiet har derfor vært relevant for utarbeidelsen av forskningsspørsmålet, samt for å sikre at funksjonene vi presenterer faktisk egner seg til riggplanlegging.

Det er publisert lite akademisk litteratur som konkret omhandler hvordan man kan bruke Synchro Pro til riggplanlegging. Det som er utgitt, er i hovedsak publisert av produsentene selv, eller andre potensielt partiske kilder. For å vurdere hvordan Synchro Pro fungerer til riggplanlegging, anså vi det fornuftig å teste ut ulike bruksområder selv for å opparbeide våre standpunkter. Svaret på dette forskningsspørsmålet baserer seg derfor i stor grad på våre egne erfaringer etter eksperimenter i programvaren.

For å ha mulighet til å utføre eksperimentene, har det vært nødvendig med kompetanse innen programvaren. Dette er tilegnet ved hjelp av et dokumentstudie av relevante veiledningsfiler og videoer, i tillegg til at vi aktivt har korrespondert med tekniske veiledere fra Synchro. I løpet av litteraturstudiet avdekket vi at mangel på praktisk kompetanse i 4D-programvarene er et vesentlig hinder for implementering av 4D BIM. For å senke terskelen for både nye og nåværende brukere, anså vi det som relevant å gjøre et dypdykk i konkrete funksjoner og lage veiledninger til disse. I denne masteroppgaven er enkelte funksjoner presentert ganske overordnet. For detaljerte beskrivelser av disse, samt ytterligere funksjoner, se vedlegg.

2.3 Bruk av metoder

I kapittel 2.2 ble metodene vi har brukt for å besvare forskningsspørsmålene presentert, samt hvorfor vi valgte akkurat disse. Dette kapittelet forklarer *hvordan* fremgangsmetodene er benyttet.

2.3.1 Litteraturstudie

Vi har foretatt en gjennomgang av utvalgt litteratur som knytter seg til vår problemstilling. Problemstillingen favner bredt og vi valgte derfor et *allment litteraturstudie*, fremfor et strukturert. Dette delkapittelet beskriver hvordan vi har utført vårt litteraturstudie. Stikkord er:

- Informasjonsinnhenting og søkemotorer
- Søkord og spesifikasjoner i søkene
- Utvelgelse av resultater og kildekritikk
- Behandling og strukturering av litteraturen

Informasjonsinnhenting og søkemotorer

For å identifisere relevant informasjon, har vi hovedsaklig benyttet oss av tre fremgangsmåter:

1. Søk i søkemotorer
2. Manuell gjennomgang av relevante journaler
3. Snowballing

Mye av den benyttede litteraturen er lokalisert etter søk i søkemotoren *Google Scholar*, samt fra gjennomgang av diverse journaler som *Automation in Construction* og *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. Journalene er benyttet etter tips fra vår veileder, som også har bidratt med flere innspill til relevante arbeider for denne masteroppgavens problemstilling. For å finne litteratur, er det også benyttet teknikken *snowballing*. Snowballing går ut på at en starter med et visst sett med papere, masteroppgaver, journalartikler eller lignende, for så å jobbe seg videre til nye arbeider som er referert i de originale verkene (Wnuk 2017). Denne teknikken passer, ifølge Wnuk (2017), godt til studenter som skriver masteroppgave og kan gi en vesentlig kunnskapsøkning innen de aktuelle temaene. Snowballing har blitt brukt mye og vært avgjørende for at vi har identifisert mange av de benyttede kildene, spesielt for å finne modelleringsveiledninger og -standarder. Selv om det ikke er en like god søkemotor for å finne akademiske kilder, så har vi også brukt *Google* i vesentlig grad. Grunnen til dette, er blant annet at oppdatert informasjon vedrørende modelleringsveiledninger *ikke* er funnet ved bruk av *Google Scholar*.

Arbeidet med å lokalisere informasjon påbegynte allerede høsten 2019 da vi utarbeidet en fordypningsoppgave om 4D BIM og aktuelle programvarer. En del av kildene vi undersøkte i den forbindelse har også vist seg å være relevante for denne oppgavens problemstilling, og har blitt benyttet. Fremgangsmåten til litteraturstudiet vi utførte i løpet av høsten 2019 er den samme som vi har benyttet i denne masteroppgaven, med unntak av søkeordene som var annerledes og mer tilpasset den oppgavens problemstilling.

Søkeord og spesifikasjoner i søkene

I litteratursøket ble det benyttet konkrete søkeord/setninger for å finne relevant informasjon. I journalene har vi sett etter artikler som passer til problemstillingen, og det er fokusert på titler med innhold som *BIM*, *modeling* og *4D*. For å få en ryddig struktur på litteraturgjennomgangen, begynte vi med generelle søkeord

for å få oversikt over det store bildet, før vi etterhvert snevret oss gradvis innover mot kjernen av problemstillingen vår. Dette har gjort at det har vært lite problemer med å finne kilder, og søkene våre har resultert i mange treff. Tabell 3 viser eksempler på benyttede søkeord i søkemotorene, med tilhørende resultater. Som tabellen viser, kan man begrense resultatmengden betraktelig ved å gi søkeord ytterligere spesifikasjoner. Søket på «4D BIM» i Google Scholar resulterte i 29 200 treff, mens ved å søke på «"4D BIM"» ble resultatmengden begrenset til 2 780 treff. Forskjellen på disse, er at det første alternativet søker etter verker som inneholder ordene «4D» og «BIM», mens det andre tilfellet krever sammenhengen mellom 4D og BIM, altså søker spesifikt etter den eksakte strengen «4D BIM». Samtidig er det viktig at man ikke har for spesifikke søkeord, da dette kan ekskludere mange potensielt relevante arbeider.

Teknologien er i rivende utvikling, og mye kan endres fra år til år. Der denne masteroppgaven omtaler teknologien i form av spesifikke funksjoner i programvare eller modelleringskrav, har vi derfor hatt fokus på å benytte nyere kilder. I slike tilfeller har vi som regel lagt til kriterier om publiseringsdato i søkene.

Tabell 3: Eksempler på søkeord og resultater

Søkeord	Søkemotor	Antall resultater	Benyttet kilde
4D	Google Scholar	2 490 000	
4D BIM	Google Scholar	29 200	
"4D BIM"	Google Scholar	2 780	
"4D BIM" Modeling	Google Scholar	2 710	
"4D BIM" Modeling (senere enn år 2016)	Google Scholar	1 060	
"4D BIM Modeling" (senere enn år 2016)	Google Scholar	17	Automated Mining of Construction Schedules for Easy and Quick Assembly of 4D BIM Simulations (Torres-Calderon et al. 2019)
"4D BIM" & "Safety planning"	Google Scholar	335	4D-BIM for Construction Safety Planning (Sulankivi et al. 2010)

Utvelgelse av resultater og kildekritikk

Som vist i tabell 3, så resulterte generelle søk på 4D BIM i svært mange treff, og vi har måttet velge hvilke kilder vi ønsket å utforske videre. NTNUs retningslinjer for kildekritikk har ligget til grunn for våre vurderinger, og TONE-prinsippet er benyttet. TONE står for (Brodshaug 2019):

- Troverdighet - hvem er ansvarlig for utgivelsen, og hvor finner man den?
- Objektivitet - Hvordan er dataene i utgivelsen vist frem? Er dataene i samsvar med tidligere forskning? Viser flere sider av saken frem?
- Nøyaktighet - Er forskningsmetoden/metodetilnærmingen godt forklart? Hvor nye og oppdaterte er dataene?
- Egnethet - Hvor godt passer informasjonen i utgivelsen til problemstillingen? Hvem er arbeidet skrevet for?

Et arbeid som passet våre søkefiltre har først blitt evaluert etter overskriften. Er denne interessant for oss og vår problemstilling? Deretter har vi sett etter hvem som har forfattet det og hvor det er publisert. Arbeider

som er publisert av forlag, for eksempel Elsevier, har allerede blitt kvalitetssikret gjennom en fagfelleevaluering. Vi har også sett på antall siteringer, som har gitt oss et inntrykk av hvorvidt dette er et velkjent/anerkjent arbeid eller ikke. Dette har dog ikke vært en styrende parameter, men heller fungert som en pekepinn på hva slags type verk det er. Hvis summen av dette har vekket vår interesse, har arbeidet blitt undersøkt videre. Det har først blitt fokusert på nøkkelord, konklusjoner, sammendrag og de overordnede resultatene som er presentert. Hvis disse har vært interessante, enten ved at de fremviste relevant informasjon som var ny for oss, bekreftet tidligere verker, var motstridende til tidligere oppfatninger eller lignende, har vi gjort et dypdykk i arbeidet. Da er også metodene vurdert før vi eventuelt har valgt å ta med dette som kilde. Slik mener vi at vi har arbeidet i henhold til TONE-prinsippet.

Hvordan vi har jobbet, samt hvordan vi har vært kildekritiske, kan beskrives med et eksempel: Etter søk i Google Scholar fant vi paperet «Efficiency Evaluation of 4D CAD Model» (Reizgevičius et al. 2013). Publikasjonen er forfattet av Marius Reizgevičius, Leonas Ustinovičius og Romas Rasiulis, og har 15 siteringer ifølge Google Scholar. Paperet er publisert av Elsevier og det er fagfellevurdert. Overskriften vekket interesse ettersom den appellerer til vår problemstilling. Sammendraget var også meget interessant, det står nemlig at en 4D-modell kan opp mot doble effektiviteten, samt halvere sannsynligheten for at det gjøres feil i gjennomføringsfasen. Ved videre undersøkelse av metoden kom det frem at resultatene deres ble utledet på bakgrunn av eksperimenter hvor grupper av byggingeniørstudenter i Litauen skulle montere et lego-hus. Halvparten av gruppene fikk utlevert 2D-tegninger, mens den andre halvparten fikk utlevert en 4D-modell. Eksperimentet viser et potensiale for mer effektiv gjennomføring ved bruk av 4D-modeller. Allikevel vurderte vi spriket mellom dette eksperimentet og dagens reelle bransje som for stort til å kunne trekke logiske slutninger, samt å hevde at implementering av 4D BIM vil doble effektiviteten og halvere antall feil som gjøres. Blant årsakene til at vi mener dette ikke er overførbart er erfaringen til deltagerne i studien, kompleksiteten til byggverket og samspillet deltagerne imellom. I tillegg er *kun* bruk av 2D-tegninger nokså utdatert i forhold til dagens praksis (kunne eksperimentet blitt gjort ved å sammenligne 3D- og 4D-modeller?). Metoden er ikke nødvendigvis dårlig, og resultatene kan være gode. Likevel mener vi at det ikke kan trekkes sikre, logiske, og direkte slutninger om dagens byggebransje på bakgrunn av dette eksperimentet. Derfor forkastet vi dette, og har heller fokusert på arbeider som har undersøkt reelle prosjekter eller den reelle bransjen.

Denne masteroppgaven benytter noe informasjon fra internett-sider, blant annet fra Synchron sine hjemmesider og Byggeindustrien. Problemet ved bruk av hjemmesider er troverdigheten til den informasjonen som finnes der. Everett & Furseth (2012, s. 87) skriver nemlig at sidene til veletablerte og kjente institusjoner har samme pålitelighet og troverdighet som institusjonene selv. På bakgrunn av dette har vi forsøkt å begrense bruken av slike nettsteder. Likevel har det blitt brukt noe i kapittel 4.2.1 og kapittel 4.2.2. Dette er gjort fordi det har vært utfordrende å finne andre, mer troverdige, kilder som beskriver temaet. Nettsteder er likevel kun brukt til små deler av oppgaven, og det har derfor ikke stor påvirkning på resultatene vi presenterer.

Behandling og strukturering av litteraturen

I løpet av litteraturstudiet har vi undersøkt en stor mengde arbeider. For å strukturere litteraturen, har vi benyttet oss av referansehåndteringsverktøyet Zotero. I Zotero har vi organisert kildene ut ifra innhold og hvilke forskningsspørsmål de omhandler. Vi har alltid forsøkt å undersøke flere ulike kilder til hvert forsk-

ningsspørsmål, og ved å strukturere arbeidet i Zotero har vi til enhver tid hatt kontroll over kildegrunnet. Etter hvert som vi opparbeidet et grunnlag av kilder som var vurdert holdbare i henhold til TONE-prinsippet, startet arbeidet med å bygge opp svarene på forskningsspørsmålene. For å opparbeide våre standpunkter har vi sammenlignet informasjonen, lett etter enigheter, ulikheter, forskjellige vinklinger og lignende.

2.3.2 Dokumentstudie

Deler av vår fremgangsmåte for informasjonsinnhenting kan i stor grad beskrives som ulike varianter av dokumentstudie. Dette innebærer bruk av data fra tidligere utførte intervjuer, gjennomgang av BIM-modeller og brukerveiledninger til programvaren Synchro Pro. Denne delen forklarer hvordan vi har arbeidet med de ulike variantene.

Bruk av intervjuer fra andre oppgaver

Vi har, som nevnt tidligere, hentet ut data fra intervjuer som er foretatt i forbindelse med andre oppgaver. Hovedvekten av intervjuinformasjonen er hentet fra bacheloroppgaven «4D i den norske byggebransjen» (Bjørnstad et al. 2019). Flere av spørsmålene i intervjuguiden deres er veldig relevante for denne masteroppgavens problemstilling. Blant annet har Bjørnstad et al. forhørt seg om hvilke erfarte effekter intervjuobjektene mener 4D BIM har medbrakt prosjekter, både fordeler og ulemper. Dette er direkte relevant for oss, og vi har benyttet data fra intervjusammendragene deres som grunnlag for å besvare våre forskningsspørsmål. Intervjusammendragene er omfattende og inneholder både sammendrag og direkte sitater fra intervjuobjektene. Vi har i hovedsak benyttet informasjon herfra, og ikke fra selve oppgaven til Bjørnstad et al. (2019), da dette har gitt oss større muligheter for å tilpasse resultatene til vår vinkling. Dataene er hovedsaklig brukt som grunnlag for å gi oppdatert data vedrørende bruk av 4D BIM, samt i hvilken grad mulighetene og utfordringene (som er lokalisert i litteraturstudiet) samsvarer med intervjuobjektene oppfatninger.

Gjennomgang av reelle BIM-modeller fra bransjen

Betonmast Romerike v/Svein Rennan har fungert som ekstern veileder for denne oppgaven. Vi har vært i god dialog med Betonmast, og fått flere innspill til oppgaven fra dem. Dette var spesielt nyttig tidlig, da det var etter diskusjoner med Betonmast at vi kom frem til den valgte problemstillingen.

Fra Betonmast sine avdelinger på Romerike og Telemark fikk vi tilgang til 3D-modeller fra tidligere og pågående prosjekter. Vi har undersøkt disse modellene, og gjennomgått navngiving, klassifisering og strukturering av objektene. Dette sammenlignet vi så med Synchro Pros eksempelmodell, i tillegg til BIM-krav og -anbefalinger gitt fra Statsbygg, Entreprenørforeningen - Bygg og Anlegg, Standard Norge og andre bransjeaktører. Gjennomgangen av BIM-modellene, kombinert med eksperimentene i Synchro Pro, har vært viktige for utarbeidelsen av våre svar på forskningsspørsmål 3 og 4. BIM-modellene har vært av varierende kvalitet og for hver nye modell vi har gjennomgått har vår forståelse for hva som er normal modelleringspraksis, samt hva som er nødvendig for å utarbeide en 4D BIM-modell økt. I løpet av gjennomgangene har vi blant annet sett etter:

- Åpenbare feil, mangler, uregelmessigheter.
- Organisering av objektreet, altså om modellobjektene var organisert på en logisk, fornuftig måte.
- Om objektene var gitt forståelige navn, og om de var plassert i korrekte objektklasser.
- Hvilken detaljeringsgrad BIM-modellen hadde. Både hvor mye informasjon hvert objekt var tilegnet

(etasjenummerering, mengder, materialtype, etc), samt hvor høy geometrisk detaljeringsgrad objektene var modellert med.

- Hvorvidt de modellerende har fulgt generell god modellpraksis, i henhold til blant annet Statsbygg (2019b, s. 26-28) og (Hjerpaasen et al. 2018).

Det viste seg tidlig at 3D-modellene ikke inneholdt samme informasjon som Synchro sine veiledningsmodeller. Da dette ble oppdaget, ble også vår innfallsvinkel endret; fra å ha et ønske om å *bruke* arbeidsmetoden 4D BIM best mulig for å høste de positive effektene, til i større grad å *tilrettelegge* for enklere bruk.

Brukerveiledninger for Synchro Pro

Vi har begge lagt ned en betydelig innsats for å lære programvaren Synchro Pro 2018. For å lære denne har vi søkt etter og innhentet mye informasjon. Denne fremgangsmåten kan til en viss grad sammenlignes med litteraturstudie, men det er en del aspekter som gjør at vi har valgt å kategorisere det som et dokumentstudie. Blant annet er kildekritikk en viktig del av et litteraturstudie, mens det har vært mindre sentralt her. For å lære de ulike funksjonene i programvaren har vi foretatt et slags dokumentstudie, og data blitt hentet fra en rekke ulike steder, som:

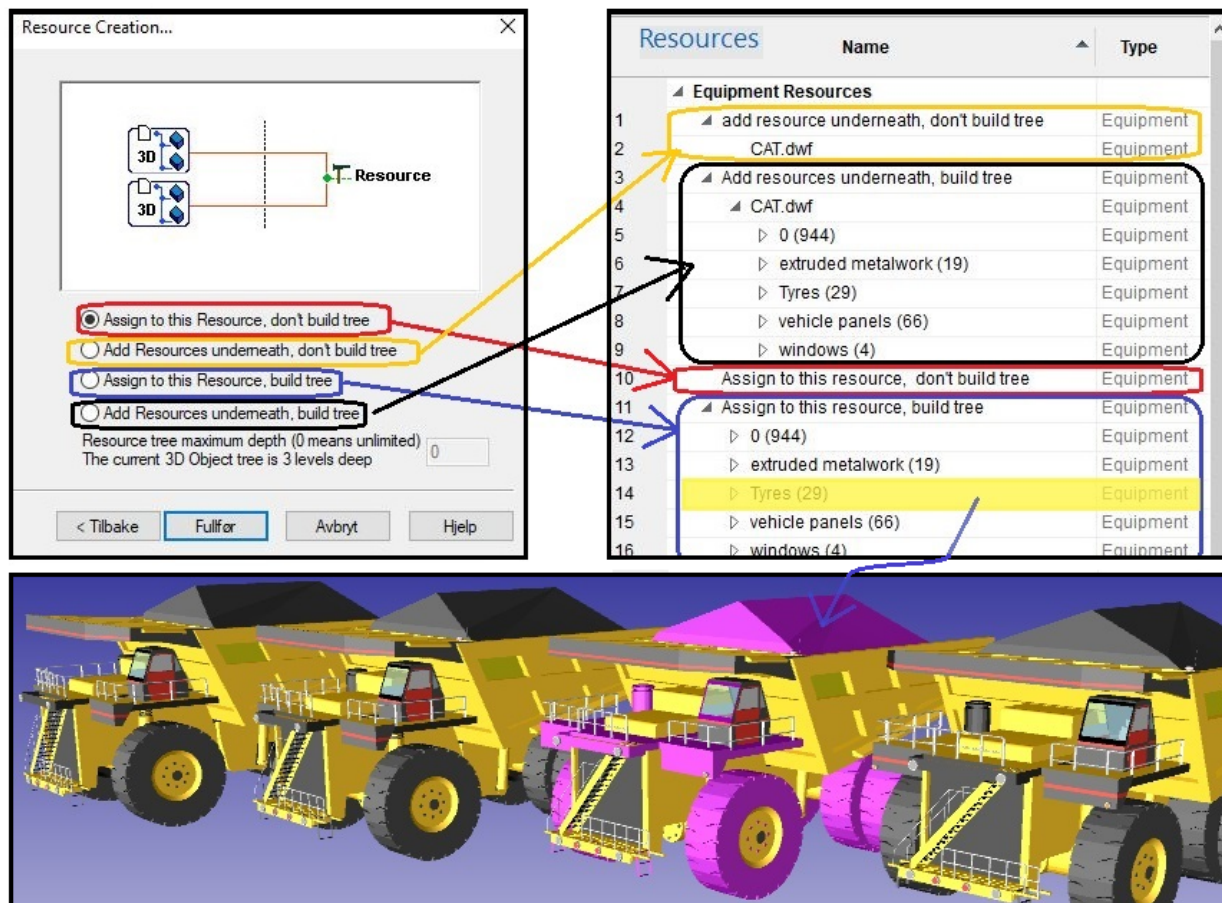
- Veiledningsfiler med tilhørende modeller og fremdriftsplaner nedlastet fra Synchro sine nettsider.
- Modeller og fremdriftsplaner fra prosjekter i Betonmast.
- Veiledningsvideoer fra nettstedet som YouTube.
- HELP- funksjonen i programvaren.
- Mailkorrespondanse med Synchro sine tekniske veiledere.
- Generelle søk på internett.
- Internt samarbeid og kommunikasjon.

2.3.3 Eksperimenter i programvaren Synchro Pro

Etterhvert som vår kompetanse i programvaren økte, begynte vi å utføre eksperimenter i den. Vi har testet, kontrollert og verifisert informasjon som er funnet i litteraturen tilknyttet muligheter og utfordringer, men hovedvekten av eksperimentene er utført for å svare på forskningsspørsmål 3 og 4. Ved å utføre eksperimenter har vi hatt muligheten til å evaluere informasjonen som er gitt direkte fra Synchro (som kan være partisk). Eksperimentene har også gitt oss et innblikk i arbeidsprosessene i programvaren, hva som kreves av modelleringsgrunnlaget, samt gitt mulighet til å foreta vurderinger om funksjonenes nytte sett opp mot tidsbruken man må legge ned for å realisere dem.

Etter forespørsel, ble vi tidlig i semesteret tildelt to studentlisenser til Synchro Pro 2018. Vi tok kontakt med flere enkeltpersoner og instanser i et forsøk på å få tilgang til fullverdige lisenser, men det lot seg ikke gjøre. Den største opplevde ulempen ved å benytte studentlisenser fremfor fullverdige, har vært begrensningen om at man maksimalt kan ha 125 aktiviteter i fremdriftsplanen. Dette har umuliggjort importering og synkronisering av større fremdriftsplaner, og har ført til at de utførte eksperimentene hovedsaklig har vært knyttet til *modelleringen* for 4D BIM. Opprinnelig var planen å også inkorporere endringer av fremdriftsplaner i masteroppgaven, men det ble valgt bort da vi følte at vi ikke hadde de rette verktøyene for å behandle dette godt nok.

Arbeidet i Synchro Pro er karakterisert som bruk av den eksperimentelle metoden. Det gjelder spesielt for bruk av ulike funksjoner, der forskjellige fremgangsmetoder og varierende innstillinger i programvaren er testet. Et eksempel på dette er hvordan utfallet blir påvirket av valg man gjør vedrørende opprettelse av ressurser når man importerer 3D-modeller til programvaren, se figur 1. I dette eksempelet har man valgt mellom fire forskjellige innstillinger ved import, og hvilken man velger vil påvirke oppbygging av hvordan ressursene ordnes i programvaren.



Figur 1: Opprettelse av ressurser og hvordan ressurstreet blir ved ulike valg.

Eksperimentene har blitt gjort i de samme modellene som ble gjennomgått i dokumentstudiet, samt i nedlastede modeller fra Synchros hjemmesider. Etter at vi fikk oversikt over innholdet, oppsettet og detaljeringsgraden i modellene, undersøkte vi diverse funksjoner, arbeidsmetoder og teknikker. Vi har eksperimentert med funksjoner på forskjellige måter, for å få et innblikk i hvordan de på ulikt vis kan brukes i programvaren. Slik har vi bedre kunnet vurdere hva som kreves av BIM-modeller for å sammenkoble objekter med aktiviteter i fremdriftsplaner, det være seg objektklassifisering, navngiving og ellers generell modellkvalitet.

Vi bestemte oss tidlig for å, i tillegg til selve masteroppgaven, lage en veiledning til programvaren. Denne veiledningen inneholder en generell innføring til Synchro Pro, samt mange detaljerte eksempler på utførelse av funksjoner. Veiledningen er lagt ved oppgaven i vedlegg. Veiledningene er utarbeidet som et bidrag for å senke kompetanseterskelen tilknyttet implementering og bruk av 4D-verktøy. For å utarbeide vedlegget

har informasjon blitt samlet, testet, eventuelt redigert, i tillegg til at fremgangsmetodene har blitt verifisert i programvaren før vi har laget forklaringer. Vedlegget tar for seg mange sentrale funksjoner og fokuserer spesielt på de som anses for å være særlig nyttige og interessante. Dette gjelder funksjoner som dekker et behov / løser et problem som ble avdekket i litteraturstudiet, eller etter avklaringer med Betonmast. Det er brukt mange konkrete eksempler for å forklare de ulike funksjonene og i eksemplene har vi hovedsaklig benyttet modeller fra reelle prosjekter i Betonmast. Dette er gjort da det er opplevd et sprik mellom hva som fungerer i Synchro sine opplæringsmodeller og de reelle modellene. Modellene som er gitt fra utvikleren er gjerne «perfekte», eller skreddersydd, til opplæringsfilene. Informasjonen som er gitt i Synchros opplæringsfil har heller ikke alltid vært tilstrekkelig. Derfor har reelle modeller blitt benyttet for å kunne gi forklaringer som er bedre tilpasset dagens situasjon.

2.4 Klassifisering og vurdering av metodene

I denne oppgaven har vi benyttet flere ulike fremgangsmåter for datainnsamling. Det er forsket både induktivt og deduktivt ved å bruke både kvalitativ og kvantitativ informasjon. Dette delkapittelet tar for seg en vurdering av våre benyttede metoder. Litteraturstudie, dokumentstudie, og eksperimenter i programvaren blir vurdert separat, og metodene blir klassifisert før deres styrker og svakheter blir evaluert. I kapittel 2.5 blir reliabilitet og validitet vurdert til hvert forskningsspørsmål.

Vi mener at forskningsdesignet som ble presentert i kapittel 2.2, samt fremgangsmåtene som er beskrevet i kapittel 2.3, har dannet grunnlaget for å gi oss en helhetlig forståelse av temaet. Fordypningsoppgaven bidro til inspirasjon og kompetanseoppbygging, samtidig som den igangsatte en modningsprosess; både faglig, men også for utvikling av ideer. Dette har vært nyttig for å kunne utarbeide en problemstilling som er aktuell, samtidig som den har vært spennende å jobbe med. Litteraturstudiet, og deler av dokumentstudiet, sørget for å gi oppdatert informasjon tilknyttet forskningsspørsmålene. Eget arbeid i Synchro Pro muliggjorde testing, verifisering og utdyping av funnene i litteraturen. Vi mener kombinasjonen av disse metodene har forbedret resultatene, og vurderer helheten til å være sterkere enn summen av delene. Kombinasjon av to eller flere metodetilnæringer er kalt *metodisk triangulering*, og hensikten er å styrke muligheten for å få gode, riktige resultater (Thurmond 2001). At denne masteroppgaven er skrevet av to personer, fremfor individuelt, ses på som fordelaktig: Samarbeid har blant annet latt oss undersøke mer litteratur, hjelpe hverandre i programvaren, i tillegg til å belyse flere sider i diskusjoner.

2.4.1 Litteraturstudie

Klassifisering

Vårt litteraturstudie svarer til bruk av induktiv metode ettersom prosessen har bestått i å observere eksisterende litteratur og benytte denne som grunnlag for å bygge opp våre standpunkter. De undersøkte verkene har i hovedsak også benyttet seg av induktive forskningsmetoder. Mesteparten av informasjonen som ligger til grunn er kvalitativ og tekstbasert, men det er også noen innslag av kvantitative data i kildegrunnlaget. Dette gjelder spesielt i kapittel 2.3.1. Her fremlegges tallbaserte svar som Gledson & Greenwood (2016) og Butkovic et al. (2019) fikk på flere spørsmål innen gitte kategorier. Spørsmålene og svaralternativene var forhåndsdefinerte, og slik sett kan deres metode ses på som deduktiv ettersom det har ligget antagelser til grunn ved forskningen.

Styrker og svakheter

Det er skrevet mye litteratur om 4D BIM, og eksisterende forskning er brukt som fundamentet til masteroppgaven. Dette har gitt oss mulighet til å (som Google Scholar sitt motto) «stå på skuldrene til kjemper», fremfor å måtte «finne opp kruttet på nytt». En av fordelene med litteraturstudier, er at man får et teoretisk perspektiv (Øvern 2014). Øvern (2014) trekker også frem at det oppsummerer kunnskapen, samt at man ikke er avhengig av direkte tilgang på kompetente personer for å tilegne seg informasjon. Litteraturstudie er altså en god måte å få oversikt over problemstillingen på. Snowballing, beskrevet i kapittel 2.3, er også benyttet for å finne relevant litteratur. Ifølge Wnuk (2017) får spesielt studenter en vesentlig kunnskapsøkning ved å benytte seg av denne teknikken.

Blant svakhetene til litteraturstudie som metode, er at man alltid er begrenset til data som allerede finnes, og det er ikke alltid en finner data som passer til den gitte vinklingen (Øvern 2014). Informasjonen kan også være utdatert, eller ikke lenger gjeldende. I tillegg kan forfattere være subjektive og/eller lite troverdige. Vi har benyttet en del snowballing, og hvis en eller flere av arbeidene i «startsettet» er uegnede, er det også fare for at det er slik i de videre verkene (Wnuk 2017). Det har derfor vært viktig å benytte TONE-prinsippet på alle arbeider som er funnet, både fra litteraturstudiet og fra snowballingen.

2.4.2 Dokumentstudie

Vi har foretatt tre varianter av dokumentstudie; gjenbruk av intervjudata, gjennomgang av BIM-modeller fra bransjen, og brukerveiledninger for 4D-programvaren Synchro Pro. Disse variantene skiller seg vesentlig fra hverandre, og vurderingene foretas derfor separat for de ulike delene.

2.4.2.1 Gjenbruk av intervjudata

Klassifisering

Informasjonen som ligger til grunn er basert på oppfatninger og meninger, og klassifiseres som kvalitativ informasjon. En kan argumentere for at intervjuerne har benyttet den deduktive forskningsmetoden, ettersom de stilte forhåndsdefinerte spørsmål som var tilpasset det de eksakt ønsket svar på. Allikevel er det stilt relativt åpne spørsmål som ikke er konstruert for å søke bekreftelse fra intervjuobjektene, men heller innhente deres oppfatninger og meninger. Intervjuene er gjennomført semistrukturert og individuelt med deltagerne. I henhold til Bjørnstad et al. (2019, s. 8), som har vært vår hovedkilde til intervjudata, er dette gjort for at intervjuobjektene skal ha mulighet til å utdype svarene. Bjørnstad et al. hadde også et ønske om at intervjuobjektene skulle dele mest mulig av sine erfaringer med 4D BIM, og de var ikke bundet til intervjuguiden. Vi klassifiserer derfor dette som induktiv metode, ettersom metoden tilrettela for å lage teorier på bakgrunn av intervjuene, fremfor å bruke intervjuene til å bekrefte/avkrefte teorier. Vi har også benyttet intervjudataene på samme induktive måte, nemlig for å bygge opp våre standpunkter (sammen med data fra litteraturstudie).

Styrker og svakheter

Ifølge Øvern (2014) er det en fordel ved litteraturstudie at man ikke trenger direkte tilgang på kompetente personer for å tilegne seg kunnskap. Dette er overførbart til vår bruk av tidligere utførte intervjuer som datagrunnlag. Vi har raskt kunnet tilegne oss informasjonen fra intervjuobjektene, uten behov for direkte kontakt med dem. Vi har ikke kunnet velge hverken spørsmålene eller intervjuobjektene selv, og dette kan

ses på som en svakhet ved å bruke dataene. Likevel mener vi at mange av spørsmålene Bjørnstad et al. (2019) stilte, er direkte relevante for å undersøke vår problemstilling. En ulempe ved slik kvalitativ informasjon, er at det finnes rom for tolkning Samset (2014, s. 169-182). Ved at vi har benyttet sammendrag fra intervjuene, fremfor direkte transkripter, er allerede svarene tolket til en viss grad. Dataene er bearbeidet av noen andre enn oss, og av noen som har en annen innfallsvinkel og problemstilling enn denne masteroppgaven. Dermed er det en fare for at svar som hadde vært av denne oppgavens interesse, har blitt unnlatt i sammendragene.

2.4.2.2 Gjennomgang av BIM-modeller fra bransjen

Klassifisering

Vi har arbeidet på en induktiv måte ettersom vi først har undersøkt flere BIM-modeller, og brukt disse til å opparbeide inntrykk av hvordan dagens modelleringspraksis er. Vi har studert modellenes oppbygning og struktur, hvilke parametre de inneholder, størrelser på / oppdelingen av objektene, og hvorvidt dette kan passe til aktivitetspakkene i fremdriftsplanene. Selv om modellene inneholder mange tallbaserte parametere, svarer vår arbeidsmetode til bruk av den kvalitative metoden. Dette er fordi vi har gjort helhetsvurderinger av modellene fremfor statistiske analyser av dem.

Styrker og svakheter

Dette har gitt et praktisk perspektiv til vurderingene av dagens modellering mot det som er viktig for 4D BIM. Våre anbefalinger baserer seg altså ikke kun på teoretiske krav og retningslinjer, men også på hvordan dagens modelleringspraksis faktisk er. Ved å kommunisere med en stor entreprenør gjennom oppgaveprosessen, har vi fått et godt innblikk i hva som faktisk er status ute på byggeplassene og hvilke arbeidsprosesser som blir benyttet. Samarbeidet tydeliggjorde behovet for et godt modelleringsfundament, før mer avanserte funksjoner og arbeidsmetoder i 4D BIM kan tas i bruk.

En kan argumentere for at vår kompetanse og erfaring innen modellering er begrenset, og at vi derfor kunne tatt i bruk andre metoder for å dra nytte av allerede eksisterende kompetanse i bransjen. Likevel har vi hatt et ønske om å vurdere nødvendig tilpasning av BIM-modellene for at det skal være tilrettelagt for «vanlige» brukere, som ikke nødvendigvis har mye erfaring med 4D BIM. For å vurdere dette, anser vi at vår kompetanse har strukket til. I tillegg bruker vi modeller fra én aktør som grunnlag for å vurdere bransjens modelleringspraksis. For å få et riktigere bilde, kunne det blitt undersøkt modeller fra flere aktører. Vi har heller ikke bakgrunnsinformasjon om modellene, hva gjelder avklaringer om for eksempel detaljeringsgrad, forespeilet bruksområde eller BIM-ambisjon.

2.4.2.3 Brukerveiledninger for Synchro Pro

Klassifisering

Vi har innhentet informasjon fra flere plattformer tilknyttet programvarens ulike funksjoner. Dette er kvalitativ informasjon i form av tekst, bilder eller video. I begynnelsen av opplæringen jobbet vi induktivt for å lære oss programvaren ved hjelp av de ulike veiledningene. Ettersom vi opparbeidet oss kompetanse, har vi utført flere søk som har vært rettet spesifikt mot hvordan man kan realisere ulike muligheter i denne spesifikke programvaren. Dette kan kategoriseres som deduktive søk, ettersom vi har søkt bekreftelse i programvaren. Allikevel vil vi klassifisere vår *arbeidsmetode* som induktiv, på tross av at søkingen etter veiledninger har foregått med deduktive innslag.

Styrker og svakheter

I startfasen av opplæringen studerte vi veiledningene i sin helhet. Dette har gitt en generell forståelse og kunnskap for programvaren og arbeidsmetoden 4D BIM. Vi anser dette for å styrket oppgaven, og det har bidratt til at vi har visst *hvilke* funksjoner som egner seg for å realisere de ulike mulighetene. De benyttede veiledningene er skreddersydde for Synchro Pro, så vi kan med stor trygghet stole på dem. En svakhet ved denne metoden, er at vi ikke har hatt direkte tilgang på kompetent personell som har gitt oss opplæring. Hvis vi hadde hatt det, kunne vi stilt spørsmål og fått raske tilbakemeldinger. Vi kunne også fått oppfølging og veiledning av kompetente personer som ville hatt mulighet til å oppdage, og rette, eventuelle ineffektive arbeidsmetoder. Mail-korrespondanse med tekniske veiledere fra Synchro har vært nyttig for å begrense dette, ved at vi har fått svar på de spørsmål som har dukket opp underveis.

2.4.3 Eksperimenter i Synchro Pro

Klassifisering

Med denne metoden har vi eksperimentert i programvaren Synchro Pro. Det er tatt utgangspunkt i spesifikke funksjoner og muligheter som er lokalisert i litteratursøket og brukerveiledningene. Bruk av disse er testet og utforsket i forskjellige BIM-modeller. For eksempel beskriver teorien muligheter for å simulere detaljerte kranbevegelser som en fordel ved bruk av 4D BIM. Eksperimentene har undersøkt om, og hvordan, dette kan gjøres konkret i programvaren. Vi klassifiserer dette som deduktiv tilnærming og bruk av kvalitativ informasjon.

Styrker og svakheter

Vi har utført tester og fått en oversikt over hvilken objektinformasjon som er viktige for en 3D-modell, dersom den skal fungere som grunnlag til å utarbeide en 4D-modell. Ved å utføre eksperimenter i programvare mener vi også at vi har opparbeidet en bedre vurderingsevne overfor litteraturen som er utforsket. Argumentet for dette, er at vi har kunnet teste påstander fortløpende og gjøre vurderinger om hvorvidt informasjon har stemt overens med personlige erfaringer. Vi vurderer det slik at arbeidet i programvaren har vesentlig styrket oppgaven. For å utføre gode eksperimenter har det vært en forutsetning med kompetanse i programvaren. Opparbeidelsen av dette har vært tidkrevende, og intervjuer kunne vært en alternativ tilnærming som kunne vært tidsbesparende.

2.5 Reliabilitet og validitet

Dette kapitlet vurderer metodenes reliabilitet og validitet. Vurderingene blir foretatt separat for hvert forskningsspørsmål.

2.5.1 Forskningsspørsmål 1

Hva er mulighetene ved å bruke 4D BIM?

Datagrunnlaget som er benyttet for å gi svar på dette forskningsspørsmålet, er funnet ved hjelp av metodene litteraturstudie og dokumentgjennomgang av data fra tidligere utførte intervjuer.

Reliabilitet: Som virkemiddel for å sikre pålitelighet i dataene som er hentet fra litteraturstudiet, har vi aktivt benyttet oss av TONE-prinsippet (troverdighet, objektivitet og nøyaktighet har vært viktigst med hensyn til reliabiliteten). Ettersom det eksisterer mye litteratur om mulighetene ved å benytte 4D BIM, har vi vært

selektive ved valg av kilder. For å ivareta reliabilitet har vi hentet mye av informasjonen fra akademiske, fagfellevurderte publikasjoner. Vi har også fått innspill til valg av litteratur, samt hjelp og kvalitetssikring fra vår veileder. Ettersom det finnes en del litteratur som beskriver 4D BIM, har vi alltid undersøkt flere enn én kilde tilknyttet det samme temaet. Dette har gjort at vi har avdekket hvorvidt det er samsvar eller uoverensstemmelser i litteraturen. For å sikre sporbarhet og etterprøvbarhet, har vi også inkludert sidetall i kildehenvisningene når det refereres til større arbeider.

Vi har også benyttet data fra tidligere utførte intervjuer. Intervjuene ble utført kvalitativt og med stort rom for tolkning av både ordvalg og ordlyd. Denne delen har ikke vi vært med på, ettersom vi ikke har utført intervjuene selv. Vår tilgang på informasjon har vært begrenset til sammendragene fra intervjuene, samt et utvalg direkte sitater. Etterprøvbarheten til dataene er noe begrenset, da vi anser det som lite sannsynlig at man ville fått eksakt samme svar dersom man hadde utført intervjuene på nytt. Allikevel er intervjuene gjort nylig, og vi vurderer informasjonen som oppdatert. Totalt sett gjør dette at vi anser reliabiliteten til intervjuene som middels. Derfor har vi ikke basert våre resultater utelukkende på intervjusammendragene, men bruken er i stor grad knyttet til å underbygge eller bekrefte litteraturen med oppdaterte oppfatninger fra den norske bransjen. Vi har også sett etter direkte sitater for å begrense vår avhengighet intervjuholdernes fortolkninger.

Validitet: Ettersom TONE-prinsippet er benyttet ved vurdering av litteratur, er det også tatt hensyn til litteraturens *egnethet*. Vi har valgt ut litteratur på bakgrunn av oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål. Det er mange arbeider som beskriver 4D BIM generelt, men også spesifikt for bruk i byggebransjen. Bruk av denne litteraturen har økt validiteten, ved at vi ikke behøver å vurdere hvorvidt ulike generelle 4D-effekter faktisk er overførbare til byggebransjen. Ettersom det finnes litteratur om 4D BIM i byggebransjen har det vært mulig med god treffsikkerhet i søkene, og vi har funnet informasjon som er tett knyttet til problemstillingen. På bakgrunn av dette, anser vi vår bruk av litteraturstudie som valid for å besvare forskningsspørsmålet.

Intervjudaene inkluderer svar på flere spørsmål som er utenfor vårt nedslagsfelt, og derfor kan man si at treffsikkerheten ikke er 100% sett opp mot vår problemstilling. Likevel er det mange av spørsmålene som er veldig godt egnet. Intervjuene undersøker det vi vil undersøke, men ikke *kun* det vi vil undersøke. Dette er likevel ikke vurdert til å være noe problem, ettersom det har vært enkelt å sortere ut den «unødvendige» informasjonen. Bjørnstad et al. (2019) spurte blant annet om hvilke fordeler intervjuobjektene har erfart med 4D BIM i prosjekter, spesifikt *hva* de har brukt 4D BIM til, og hvilke erfaringer de har gjort seg ved bruk av 4D BIM på de forskjellige plannivåene. Svarene på disse spørsmålene er veldig relevante for denne oppgavens forskningsspørsmål nr 1.

2.5.2 Forskningsspørsmål 2

Hvilke utfordringer er tilknyttet 4D BIM?

Datagrunnlaget som er benyttet for å gi svar på dette forskningsspørsmålet, er også funnet ved hjelp av metodene litteraturstudie og dokumentgjennomgang av data fra tidligere utførte intervjuer.

Reliabilitet: Vurderingen av reliabiliteten er lik som for forskningsspørsmål 1, se kapittel 2.5.1.

Validitet: Vurderingen av validitet er også veldig lik som for forskningsspørsmål 1. Likevel har vi selvsagt ikke benyttet oss av den eksakt samme litteraturen, ei heller svarresultatene fra de samme spørsmålene i intervjuene. Ettersom 4D BIM omhandler digitalisering i byggebransjen, har også *generelle* utfordringer tilknyttet digitalisering blitt undersøkt. Dette er noe utenfor det eksakte forskningsspørsmålet, men vi mener mange av disse også vil være tilstede ved 4D BIM, og slik sett er gyldige for å besvare forskningsspørsmålet. Videre har vi spesielt vært interesserte i svarene på spørsmål 7,8 og 9 fra intervjuguiden til Bjørnstad et al. (2019). Disse dreier seg om opplevde negative erfaringer, hvordan 4D BIM er vurdert på de ulike plannivåene, samt intervjuobjektene meninger omkring brukerterskelen til 4D-programvarer.

2.5.3 Forskningsspørsmål 3

Hvordan bør det modelleres for å tilrettelegge for bruk av 4D BIM?

For å besvare dette forskningsspørsmålet har vi gjennomført et litteraturstudie for å kartlegge dagens modelleringskrav, -standarder og -anbefalinger. Videre har vi utført et dokumentstudie av BIM-modeller fra bransjen for å vurdere hvorvidt modelleringsveiledningene faktisk blir fulgt. For å lære den anvendte programvaren, har vi utført et dokumentstudie i diverse veiledningsfiler. Den siste metoden; eksperimenter i programvaren Synchro Pro, er benyttet for å få et innblikk i hvilke parametere fra 3D-modelleringen som er spesielt viktige. Eksperimentene er også gjort for å vurdere hvorvidt modelleringsanbefalingene for «vanlig» BIM er tilstrekkelig også for 4D BIM, eller om det bør stilles ytterligere krav.

Reliabilitet: Vi vurderer reliabiliteten i litteratursøket som god, men vil fremheve en mulig svakhet til data som er innhentet for å beskrive modelleringspraksis: Vi har aktivt brukt SIMBA 2.0 (forslag til oppdaterte BIM-krav i Statsbygg, utgivelsesdato er 01.01.2021), som foreløpig kun er et høringsutkast, og kravene som er foreslått her er ikke ferdigstilt. Likevel anser vi dette som en bedre kilde for å evaluere BIM-krav enn de forrige versjonene, SIMBA 1.2.1 & 1.3, som er fra 2013. Selv om ikke SIMBA 2.0 er endelig, er flere av 2013-kravene endret. Vi anser derfor SIMBA 2.0 for å være mer oppdatert enn alternativet, og den er derfor benyttet. Vi har vurdert BIM-modellene fra Betonmast opp mot blant annet de foreslåtte kravene i SIMBA 2.0. Da de ikke er ferdigstilt enda, er det ikke nødvendigvis rimelig å forvente at modellene følger dem. Likevel oppdateres SIMBA 2.0 kontinuerlig, og skal representere det ønskede nivået på BIM-modeller i bransjen. Derfor mener vi disse veiledningene er relevante å legge til grunn ved evalueringer av kvaliteten på de undersøkte BIM-modellene. Våre konklusjoner er derfor delvis basert på disse modelleringsanbefalingene.

Dokumentgjennomgangen av 3D BIM-modeller har en begrensning ved at vi kun har undersøkt modeller som er gitt fra Betonmast. Det er ikke sikkert disse modellene er representative for bransjen som helhet. Likevel er modellene hentet fra to forskjellige avdelinger i Betonmast, Romerike og Telemark. Det er undersøkt et flertall modeller, fra flere prosjekter og fra ulike geografiske avdelinger. Dette gjør at det har vært

relativt mange forskjellige aktører som har bidratt for å utarbeide disse modellene, og vi mener at det til en viss grad vil speile modelleringspraksisen i bransjen.

For å lære programvaren har vi utført en dokumentgjennomgang av diverse veiledningsfiler gitt fra produsenten. Da det ofte er produsenten selv som har best oversikt over ulike funksjoner, og hvordan de kan benyttes, mener vi at det gir god reliabilitet når vi har hatt som mål å lære programvaren. Veiledningsfilene inkluderte beskrivelser av fremgangsmåter, sammen med eksempelmodeller og -fremdriftsplaner som var tilpasset forklaringene. Ved å undersøke veiledningsfilene har vi kommet frem til mange ulike funksjoner som kan benyttes når man skal koble sammen aktiviteter og objekter i programvaren.

Eksperimentene vi har utført, er sporbare i vårt opprettede veiledningsdokument, se vedlegg. Vi har isolert ulike parametre, utført arbeidet systematisk og mener graden av tilfeldige feil er lav. Ettersom vi har testet produsentens veiledninger for bruk i reelle modeller, i tillegg til veiledningsmodellene, mener vi at påliteligheten til våre veiledninger er høy. Vi har korrespondert med teknisk personell når de undersøkte veiledningene ikke har strukket til. Dette har økt vår forståelse av programvaren, som har vært viktig for at vi skulle være i stand til å gi anbefalinger om modelleringstilpasninger, samt hvordan 4D BIM kan brukes i riggplanlegging. Disse oppklaringene har vært svært viktig for reliabiliteten til våre egne utarbeidede veiledninger, og der vi har fått assistanse fra tekniske veiledere, har den tilegnede kunnskapen blitt tilført vårt veiledningsdokument. Dermed vil vårt vedlegg i mange tilfeller være mer presist, utfyllende og oppklarende enn Synchro sine egne veiledninger, ettersom de *også* er tilpasset for reelle modeller fra bransjen.

Vedlegget baserer seg i vesentlig grad på oppfatningene til et lite utvalg personer. Det finnes ofte mange ulike tilnærminger for å løse problemer i Synchro Pro, og vedlegget gjenspeiler i stor grad *våre* foretrukne alternativer. Disse anbefalingene er likevel gjort på bakgrunn av Synchro sin veileder og anbefalingene som er gitt der, men tilpasset slik at det også skal fungere for de aktuelle modellene gitt av Betonmast. Vi kan ikke med 100% sikkerhet si at *alle* de presenterte løsningene vil fungere på *alle* 3D-modeller i *alle* tilfeller. Målet har likevel ikke vært dette, men heller å avdekke svakheter og løse opp i problemer som oppstår på grunn av ulikheter i Synchro sin veiledningsmodell (som er skreddersydde til opplæringen), og de faktisk undersøkte modellene. De gitte veiledningsfilene tar også ofte for seg kun ett eksempel på de ulike funksjonene, og når vi har brukt veiledningene som utgangspunkt har dette ofte ikke vært tilstrekkelig og tidvis ført til forvirring. Dette ønsket vi å ta tak i, og har derfor utarbeidet mer utdypende forklaringer. Vi håper at vedlegget kan fungere som et bidrag for å senke implementerings- og brukerterskelen som er avdekket grunnet kompetansemangel, og at vedlegget kan være nyttig for både nye og eksisterende brukere av 4D BIM.

Validitet: Forskningsspørsmålet går ut på hvordan modelleringen bør være for at den er tilpasset 4D BIM. For å vurdere nødvendig tilpasning, har det først vært relevant å kartlegge dagens status. Vi har utført et litteraturstudie for å undersøke hva det er rimelig å kunne forvente av en vanlig BIM-modell, samt et dokumentstudie av reelle BIM-modeller fra bransjen for å undersøke hvorvidt modelleringspraksisen er i henhold til de krav, anbefalinger og standarder som er kartlagt i litteraturen. For å kunne vurdere modellene ut ifra et 4D BIM-perspektiv har det vært nødvendig med kompetanse innen arbeidsmetoden. Gjennomgang av veiledningsfiler har gitt oss nettopp dette, og validiteten blir derfor ansett som høy. Videre har vi utført eksperimenter i Synchro Pro for å teste hvordan det er å utarbeide 4D BIM-modeller fra ulike utgangspunkt.

Dette er gjort for å forstå hvilke faktorer som er viktige i modellene for å tilrettelegge for en god 4D BIM-arbeidsprosess. Dette gir grunnlag for å vurdere hvilke tilpasninger som bør gjøres, både med utgangspunkt i modelleringspraksisen, men også hvorvidt modelleringskravene bør tilpasses. Totalt sett har dette koblet sammen praktisk kompetanse innen 4D BIM med både gitte modelleringskrav, og modelleringspraksis i bransjen. Ettersom modelleringspraksisen er varierende, vil også nyttingen av de ulike funksjonene i programvaren variere. Derfor er det validt at vi har utarbeidet veiledninger for flere ulike måter å jobbe i programvaren på.

2.5.4 Forskningsspørsmål 4

Hvordan kan 4D BIM brukes til riggplanlegging?

For å besvare dette forskningsspørsmålet har vi hovedsaklig benyttet oss av dokumentstudie av veiledningsfiler samt eksperimenter i programvaren Synchro Pro. Det er også brukt et innslag av litteraturstudie for å finne frem til relevante problemer å løse i programvaren.

Reliabilitet: De undersøkte veiledningene fra dokumentstudiet er testet i programvaren, vurdert, eventuelt redigert, og verifisert før våre steg-for-steg veiledninger er utarbeidet. Der veiledningene vi har funnet ikke har vært tilstrekkelige for bruk i reelle BIM-modeller fra bransjen, har vi supplert med ytterligere forklaringer. Samlet gjør dette at vi mener presisjonen og påliteligheten til løsningene som vi presenterer er god. Sporbarhet og etterprøvbarehet er også sikret i vedlegget.

Validitet: Vi har benyttet litteraturstudie til en viss grad. Dette har kun vært for å sørge for at løsningene vi presenterer er relevante, altså at det vi presenterer faktisk er nyttig innen riggplanlegging. Videre er det å lære programvaren og eksperimentere i den gyldig for å svare på *hvordan* man kan benytte 4D BIM til slik planlegging. Ettersom kunnskapsmangel ble avdekket som et vesentlig hinder, mener vi også at det er gunstig å presentere spesifikt hvordan man kan gå frem i programvaren for å realisere de avdekkede mulighetene.

3 Teoretisk rammeverk

Hensikten med dette teorikapittelet er å forklare relevant bakgrunnsteori som leseren bør ha kunnskap til før videre lesing. Innledningsvis tar kapittelet for seg generell teori tilknyttet byggeprosjekter. Dette er relevant fordi 4D BIM kan brukes til mange ulike formål som appellerer til ulike involverte i prosjekter, til ulike tidspunkter, faser og prosesser.

Fremdriftsplanlegging er sterkt knyttet til problemstillingen ettersom selve kjernen i 4D BIM er at tredimensjonale BIM-modeller sees i sammenheng med fremdriftsplaner. Innen fremdriftsplanlegging er det hovedsakelig to ulike tilnærminger som brukes; aktivitetsbasert og lokasjonsbasert planlegging. The Last Planner® System (LPS) er et system hvor de utførende er med på å utarbeide planer på ulike tidspunkter, og planene innehar ulik detaljeringsgrad. LPS deler inn i plannivåene hovedplan, faseplan, utkikkplan og ukeplan, i tillegg til oppfølging. Systemet blir beskrevet i dette kapittelet og benyttes senere som et rammeverk når det refereres til ulike plannivåer. LPS fokuserer på å involvere de utførende arbeiderne i planleggingen, og det har nær tilknytning til *Lean*.

Lean er en filosofi innen fremstilling av varer og tjenester, som blant annet har til formål å maksimere verdiskapning og redusere sløsing av ressurser. Flere hevder det har vært et produktivitetsfall i bygge- og anleggsbransjen den senere tiden, og for å bøte på dette ser stadig flere mot implementering av Lean. Standardisering av både produkter og prosesser er et viktig tiltak for å redusere sløsing i byggebransjen, og for denne oppgaven er konseptet spesielt relevant i form av BIM-standarder, samt standarder for overføring av informasjon mellom programvarer.

3.1 Byggeprosjekter

Dette delkapittelet presenterer generell teori tilknyttet byggeprosjekter og definerer ulike begreper som blir tatt i bruk senere i oppgaven.

3.1.1 Hva er et prosjekt?

Project Management Institute (PMI) i USA beskriver prosjekter som midlertidige tiltak etablert for å skape unike produkter, tjenester eller resultater (PMI n.d.). Prosjekter har definerte mål som skal realiseres innen en gitt tidsperiode ved hjelp av begrenset tilgang på ressurser. Begrepet prosjekt kan assosieres med ord som nyskaping, endring og kreativitet (Samset 2014, s. 12). Prosjekter skal altså utvikle noe unikt, har visse begrensninger, og gjennomføres av ad-hoc¹ organisasjoner.

3.1.2 Karakteristikker til byggeprosjekter

Det finnes forskjellige typer prosjekter som krever ulike hjelpemidler for planlegging, organisering og oppfølging (Rolstadås 2019b). Når noe skal utredes, produseres eller bygges, blir det av SNL definert som et leveranseprosjekt. I denne typen prosjekter er det liten usikkerhet tilknyttet om målet *kan* nås, usikkerheten domineres heller av faktorer som gjennomføringstid, arbeidsomfang og ressursbruk. Hussein (2016, s. 26) viser til at et kjennetegn til byggeprosjekter er at leveransen er håndfast og fysisk målbar. Hussein skriver også at byggeprosjekter bærer preg av ulike typer føringer og begrensninger som stiller store krav til prosjektstyring og planlegging.

¹Ad-hoc = til dette formål

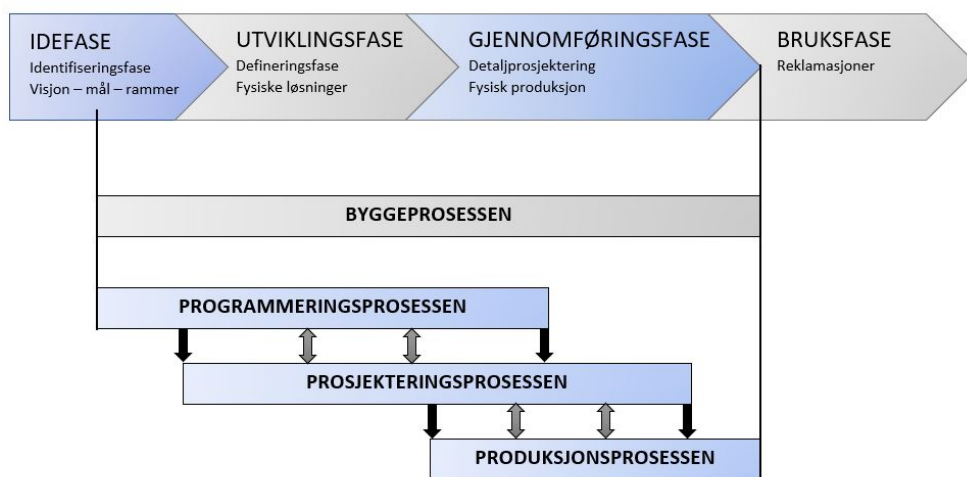
3.1.3 Faser og prosesser i byggeprosjekter

Et byggeprosjekt omfatter flere faser og prosesser. Eikeland (1999, s. 26-27) skriver at byggeprosessen generelt består av tre kjerneprosesser:

- Programmeringsprosessen: Identifisering av krav som byggverket skal tilfredsstill
- Prosjekteringsprosessen: Utvikling, utforming og beskrivelse av byggverkets fysiske egenskaper
- Produksjonsprosessen: Fysisk utførelse av byggverket

Selv om det er en viss rekkefølge mellom prosessene, ved at prosjektering går forut for utførelse av en bestemt del av en bygning, og programmeringen i all hovedsak kommer forut for prosjekteringen, er det likevel som oftest en betydelig overlapp i tid mellom kjerneprosessene.

I de fleste byggeprosjekter er byggeprosessen delt inn i ulike faser (Eikeland 1999, s. 34-37). Dette blir gjort blant annet for å gi en overordnet, helhetlig kontroll med prosjektet på kritiske stadier. Godkjenningen av en fase danner gjerne forutsetning for inngåelse av kontrakter, samt starten på neste fase ved at nye aktører engasjeres inn i prosjektet og prosjekteier påtar seg nye økonomiske forpliktelser. Samset (2014, s. 392) definerer en prosjektfase som en tidsavgrenset periode av prosjektet. På bakgrunn av definisjonen av en fase, og byggeprosessens karakteristikker, opererer Eikeland (1999, s. 36) med inndelingen som vises i figur 2. Figuren illustrerer at overgangen mellom ulike faser er tidsavgrenset, mens prosessene kan foregå over flere faser samt overlappe hverandre i tid.



Figur 2: Byggeprosessens generiske faser og prosesser, basert på Eikeland (1999, s. 36)

- Fase 1, idéfasen: Identifisere eller velge ut idéer som man vil satse på. Fasen preges av en rekke spørsmål om prosjektets forutsetninger, formål og rammebetingelser. De ideer, utredninger, analyser og beslutninger som blir gjort i denne fasen får store konsekvenser for prosjektet, og de kan danne grunnlaget for suksess eller fiasko.
- Fase 2, utviklingsfasen: I denne fasen utvikles de fysiske løsningene som skal realiseres. Dette skjer som regel med utgangspunkt i kravspesifikasjoner som utvikles gjennom programmeringsprosessen og konkretiseres i løpet av prosjekteringsprosessen. Utviklingsfasen er også til en viss grad kreativ og

søkende, men visse overordnede mål og rammer gir et utgangspunkt, et mål og et evalueringsgrunnlag for løsningene.

- Fase 3, gjennomføringsfasen: Kan også betegnes som byggefasen eller utførelsesfasen. Her gjennomføres de planer og beslutninger som er truffet i tidligere faser. Detaljprosjektering, fysisk produksjon, fremdriftsmessig koordinering på byggeplassen og planoppfølging er sentrale aktiviteter i gjennomføringsfasen. Fasen er avsluttet når resultatmålet (bygget eller veien) er realisert (Samset 2014, s. 42).
- Fase 4, bruksfasen: Bruk, drift og vedlikehold av bygget. Starten av bruksfasen vil omfatte avslutningen av byggeprosessen. Avvikling av prosjektorganisasjonen, reklamasjoner og løsning av gjenværende tvister mellom partene vil kunne løpe flere år inn i bruksfasen. I en del prosjekter defineres også selve driftsstarten med innflytting av brukere, møbler og utstyr som en del av byggeprosessen.

3.1.4 Ulike perspektiver og involverte i byggeprosjekter

Byggeprosjekter består av mange involverte parter med ulike interesser, og som derfor har forskjellige kriterier når de vurderer hvorvidt et prosjekt er vellykket eller ikke. Samset (2014, s. 29-44) benytter følgende perspektiver, og viser til ulike involverte og deres interesser:

- Bestillerperspektivet: Bestilleren/byggherren er i hovedsak opptatt av den langsiktige effekten av prosjektet. Private investorer vektlegger gjerne verdiskapningen eller lønnsomheten av prosjektet, mens offentlige investorer har større interesse av den samfunnsnyttene som prosjektet gir.
- Leverandørperspektivet: Entreprenører og leverandører retter fokuset sitt mot å produsere prosjektets resultater (selve bygget/veien) til avtalt tid, kostnad og kvalitet. Disse har også en egeninteresse i å oppnå størst mulig lønnsomhet i sin respektive virksomhet.
- Brukerperspektivet: Brukerne er opptatt av hvilken nytte prosjektets resultat har for dem, og mindre opptatt av selve gjennomføringen.

3.2 Fremdriftsplanlegging

Et av kjennetegnene til byggeprosjekter er at de bærer preg av ulike typer føringer og begrensninger som stiller store krav til prosjektstyring og planlegging. Dette gjelder blant annet krav tilknyttet til hvilken tid, kostnad og kvalitet bygget skal oppføres i. For å tilfredsstille disse kravene, er planlegging et essensielt virkemiddel.

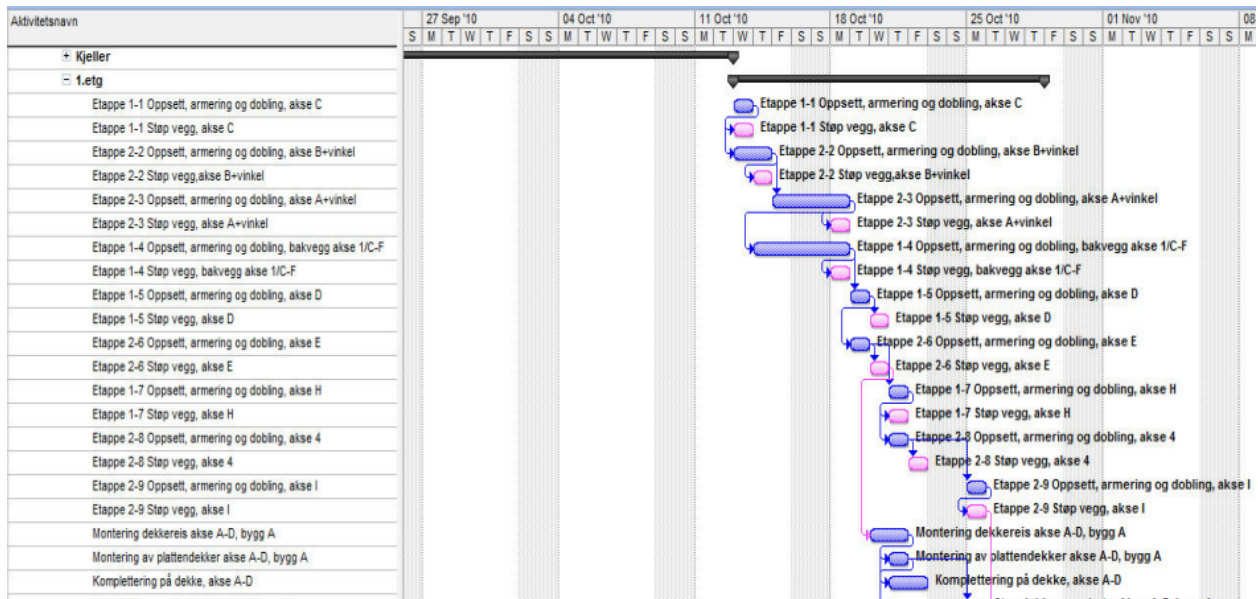
Generelt planlegger man fordi det er et mål man vil oppnå (Deglum et al. 2013, s. 92). I oppstarten av et byggeprosjekt definerer byggherre hovedmålet sitt, som skal gjøre rede for hvilke funksjoner, krav og behov bygget skal oppfylle, samt når det skal stå ferdig. For å planlegge et byggeprosjekt, må man ha oversikt over hvilke aktiviteter som skal gjennomføres, hvem som skal gjennomføre dem, og hvordan aktivitetene avhenger av hverandre (Grover 2002). For å strukturere dette kan en benytte seg av ulike metoder, og i byggebransjen er det to hovedtilnærminger til fremdriftsplanlegging, nemlig aktivitetsbasert og lokasjonsbasert planlegging (Kenley & Seppanen 2010, s. 5-10). Disse kan basere seg på flere ulike metoder og teknikker, der henholdsvis CPM og line of balance / skråstreksplanlegging er blant de aktuelle.

3.2.1 Aktivitetsbasert planlegging

Aktivitetsbasert planlegging er en samlebetegnelse for planleggingsmetoder hvor fokuset er rettet mot det arbeidet, eller de aktivitetene, som skal bli utført for å oppnå det ønskede resultatet (Kenley & Seppanen 2010, s. 5-10). Dette er den dominerende planleggingsmetododikken i byggebransjen, og har røtter tilbake til 1950-tallet.

Critical Path Method (CPM), kritisk sti-metoden, er den dominerende metoden for hvordan man planlegger og kontrollerer prosjekter, og denne følger en aktivitetsbasert tilnærming (Kenley & Seppanen 2010, s. 5-10). CPM baserer seg på analyser av logiske nettverk som består av de ulike aktivitetene som skal utføres. Slike nettverk legger til grunn aktivitetenes gitte varigheter, samt relasjoner til hverandre. Relasjonene, eller avhengighetene, mellom de ulike aktivitetene definerer den logiske oppbygningen av planen. Det er fire ulike avhengigheter; «start-til-slutt» (SF), «start-til-start» (SS), «slutt-til-start» (FS) og «slutt-til-slutt» (FF) (Kenley & Seppanen 2010, s. 42-43). «Slutt-til-start» (FS) refererer til at foregående aktivitet må være avsluttet, før påfølgende aktivitet kan begynne. Prosjektets totale varighet beregnes ut ifra den sekvensen med avhengige aktiviteter som gir høyest varighet (Kenley & Seppanen 2010, s. 16-19). Denne sekvensen av aktiviteter blir gjerne kalt for planens kritiske sti. Enhver utsettelse eller forsinkelse av en aktivitet som er på denne stien, vil ha direkte innvirkning på planlagt prosjektslutt.

Aktivitetsbaserte planer blir ofte fremstilt i et Gantt-diagram, utviklet av Henry L. Gantt og Frederick W. Taylor (Kenley & Seppanen 2010, s. 13). I Gantt-diagrammet fremstilles prosjektets aktiviteter grafisk; som en serie av horisontale søyler langs en horisontal tidsskala. Se eksempel i figur 3.



Figur 3: Eksempel på et Gantt-diagram (Ramstad 2011).

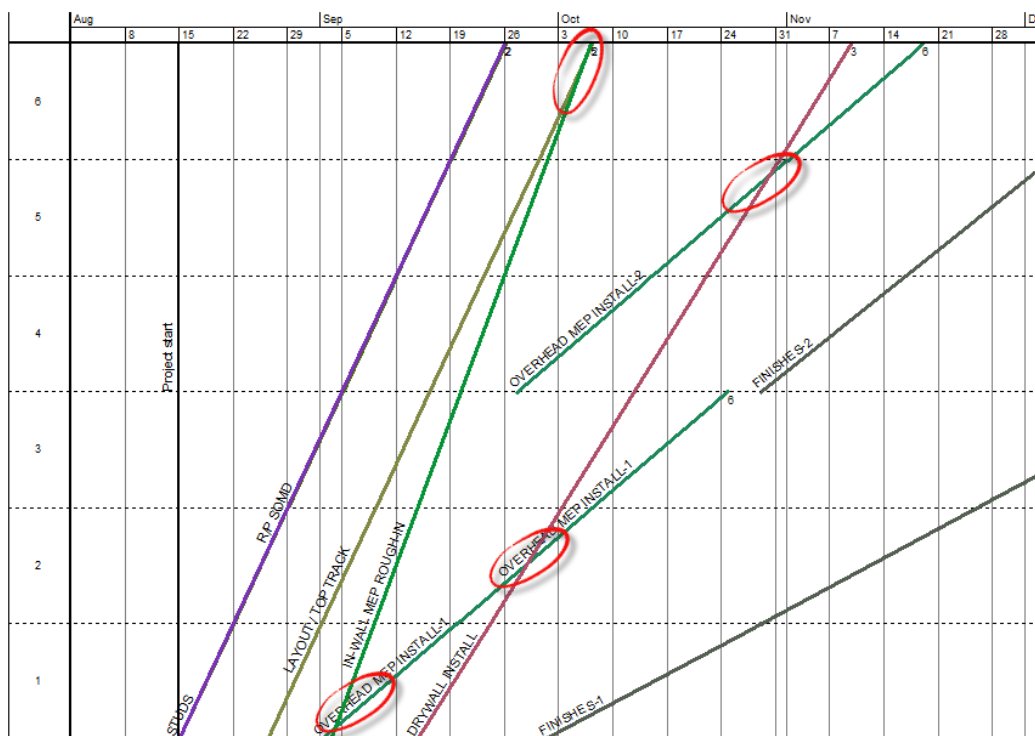
På tross av at dette er den dominerende planleggingsmetododikken i byggebransjen, mener Kenley & Seppanen (2010, s. 15) at metoden ikke er fullverdig for bruk i dagens byggebransje. Aktivitetsbasert planlegging konsentrerer seg om mengden arbeid som skal bli utført, og arbeidet behandles som en serie med arbeidspakker (aktiviteter) som kun har et tidsbasert forhold til hverandre. Metoden tar ikke direkte hensyn til fysiske

lokasjoner, altså er det ingen forhold mellom aktivitetene og omgivelsene/lokasjonene. Planene kan også være vanskelige å kommunisere, spesielt ved komplekse prosjekter med mange aktiviteter. I disse tilfellene kan planene være veldig krevende å lese og forstå, og (Kenley & Seppanen 2010, s.44-45) beskriver at de ofte blir «uleselige».

3.2.2 Lokasjonsbasert planlegging

Et alternativ til den aktivitetsbaserte tilnærmingen, er lokasjonsbasert planlegging. Slike metoder baserer seg originalt på grafiske teknikker og kan spores helt tilbake til 1929, der det ble benyttet på det innovative prosjektet Empire State Building i USA (Kenley & Seppanen 2010, s. 5-10). Lokasjonsbasert planlegging baserer seg på ressursenes forflytning mellom ulike lokasjoner eller områder og Kenley & Seppanen (2010, s. 5-10) mener at karakteristikene til kommersielle byggeprosjekter i større grad svarer til denne planleggingsmetoden.

Skråstreksplanlegging (engelsk: line of balance) er en populær metode for slik planlegging. Teknikken ble utviklet for å kunne behandle gjentakende mønstre i produksjonen, som for eksempel gjentakende CPM-nettverk (Kenley & Seppanen 2010, s. 58-71). Det er en lokasjonsbasert, ressursorientert, planleggingsmetode som fokuserer på flyt i produksjonen. Planen fremstilles i et diagram med en horisontal tidsakse og en vertikal lokasjonsakse (etasjer eller lignende). Forskjellen fra Gantt-diagrammet, er at de horisontale søylene er erstattet med streker som strekker seg gjennom tid og rom. Ved bruk av en slik planleggingsmetode må man derfor planlegge hvor de ulike arbeidslagene skal jobbe til enhver tid. Eksempel på skråstreksplanlegging, der forskjellige arbeider pågår i flere soner over tid, vises i figur 4.



Figur 4: Eksempel på skråstreksplanlegging. De røde sirklene representerer potensielle kollisjoner, altså der det er planlagt flere arbeider på samme sted til samme tid. Stigningstallet på strekene forteller hvor raskt gjennomføringen er planlagt (Trimble 2016).

3.2.3 The Last Planner System

Prosjektering og produksjon krever både planlegging og kontroll fra forskjellige aktører, på varierende steder i organisasjonen, og til ulike tider i et prosjekt (Ballard 2000, s. 3-1). Kontroll betyr, i denne forbindelsen, at man sørger for oppnåelse av et fremtidig ønsket resultat, fremfor å sammenligne forskjeller mellom planlagt arbeid og faktisk utført arbeid i ettertid (Ballard 2000, s. G-13). Planlegging høyt oppe i organisasjonen fokuserer ofte på overordnede mål og begrensninger, og brukes som utgangspunkt lengre ned i organisasjonen, der planleggingen retter seg mer spesifikt mot hvordan målene skal oppnås (Ballard 2000, s. 3-1). Til slutt er det noen som bestemmer hvilke oppgaver som skal gjøres dag for dag, og denne personen (eller gruppen) kaller Ballard for den «the Last Planner», heretter kalt «siste planlegger»

Det overnevnte danner bakgrunnen for utarbeidelsen av The «Last Planner System», også kalt LPS. LPS er et holistisk, eller helhetlig system, hvor alle delene er nødvendige for å tilrettelegge for Lean planlegging og utførelse (Richert 2017). Videre presenteres de ulike hoveddelene i systemet.

Hovedfremdriftsplan

I LPS begynner man med å utarbeide en hovedfremdriftsplan, som har til hensikt å gi en overordnet oversikt over hva som skal gjøres for å oppnå de satte målene (Richert 2017). Hovedfremdriftsplanen er øverst i planhierarkiet, og baserer seg på milepæler og store aktiviteter. Milepæler er viktige datoer i et prosjekt som markerer fullførelsen av én eller flere aktiviteter som er sentrale for å gå videre til neste trinn i prosjektet, for eksempel *byggstart*, *tett tak* og *overlevering til byggherre* (Rolstadås 2019a). Hovedfremdriftsplanen utgjør selve ryggraden til ethvert byggeprosjekt, og det er svært viktig at denne er pålitelig (Bhatla & Leite 2012).

For at planene skal bli pålitelige, bør «siste planleggere» fra både prosjekterende og utførende arbeidsteam involveres i utarbeidelsen av dem (Richert 2017). Dette utgjør for eksempel ingeniører og arkitekter fra prosjekteringsgruppen, samt formenn og baser fra de utførende. Song et al. (2009) støtter tidlig involvering, og skriver at ved å gjøre dette, kan man redusere prosjektvarigheten betraktelig.

Faseplan

Faseplanlegging blir normalt gjort to til tre måneder før påbegynnelsen av en fase. Begrepet fase brukes om en del av et prosjekt som kan bli sett på som en enhet (Richert 2017). Faseplaner er detaljerte planer for spesifikke faser i prosjektet, som for eksempel klargjøring av riggområdet, fundamenter, råbygg, fasader osv (Ballard 2000, s. 9-4). Slike planer bør utarbeides i fellesskap av de arbeidslagene som skal utføre arbeidene (Ballard 2000, s. 3-6). Planleggingen starter med å ta utgangspunkt i en milepæl, for så å jobbe seg bakover og legge til de aktivitetene som er nødvendige for å innfri den. Aktivitetene blir gjerne skrevet opp på en klistrelapp, før de plasseres i en bestemt rekkefølge som arbeidslagene blir enige om (Seppänen et al. 2010, s. 49).

Utkikksplan

Utkikksplaner skal sørge for at aktivitetene i faseplanene faktisk kan bli utført, ved å identifisere og eliminere hindringer tilknyttet arbeidet (Ballard 2000, s. 3-7). Hindringer er forhold som står i veien for at man kan gjennomføre planlagt arbeid, og kan for eksempel være mangel på materialer, arbeidskraft eller tillatelser (Richert 2017). En dominerende filosofi i LPS, som baserer seg på Lean, er at for å unngå sløsing

bør en unngå å starte på arbeid som ikke kan fullføres (for eksempel grunnet slike hindringer nevnt over) (Kenley & Seppanen 2010, s. 122). I henhold til Lean-prinsipper bør en heller vente til forutsetningene for å kunne fullføre arbeidet er til stede. Ikke-tilfredsstillende utviklingsplanlegging er ifølge Richert (2017) ofte den største faktoren for at arbeidsflyten bryter sammen. Utviklingsplaner tar for seg arbeider fire til seks uker frem i tid, og de aktivitetene som inkluderes i planen skal være konkrete arbeidsoppgaver, som enkelt kan bli kommunisert til arbeiderne (Kenley & Seppanen 2010, s. 111-112). Om man identifiserer arbeid som ikke lar seg gjøre, bør det fjernes fra denne planen.

Ukeplan

Det siste plannivået i LPS fokuserer på hva enhver «siste planlegger» skal gjøre for å oppnå målene satt i faseplanene (Richert 2017). Dette gjøres ved hjelp av ukeplaner som viser en detaljert oversikt over hvilke arbeidsoppgaver de ulike fagene skal utføre, i løpet av en uke. Slike planer undersøker *forutsetningene* for å få utført arbeidet. Hvis man oppdager hindringer, så skal eliminering av disse prioriteres (Kenley & Seppanen 2010, s. 112). Dette forhindrer sløsing ved at arbeidere ikke begynner på oppgaver som ikke lar seg fullføre. Ved tilfeller der det planlagte arbeidet ikke lar seg gjøre, bør man finne alternative oppgaver.

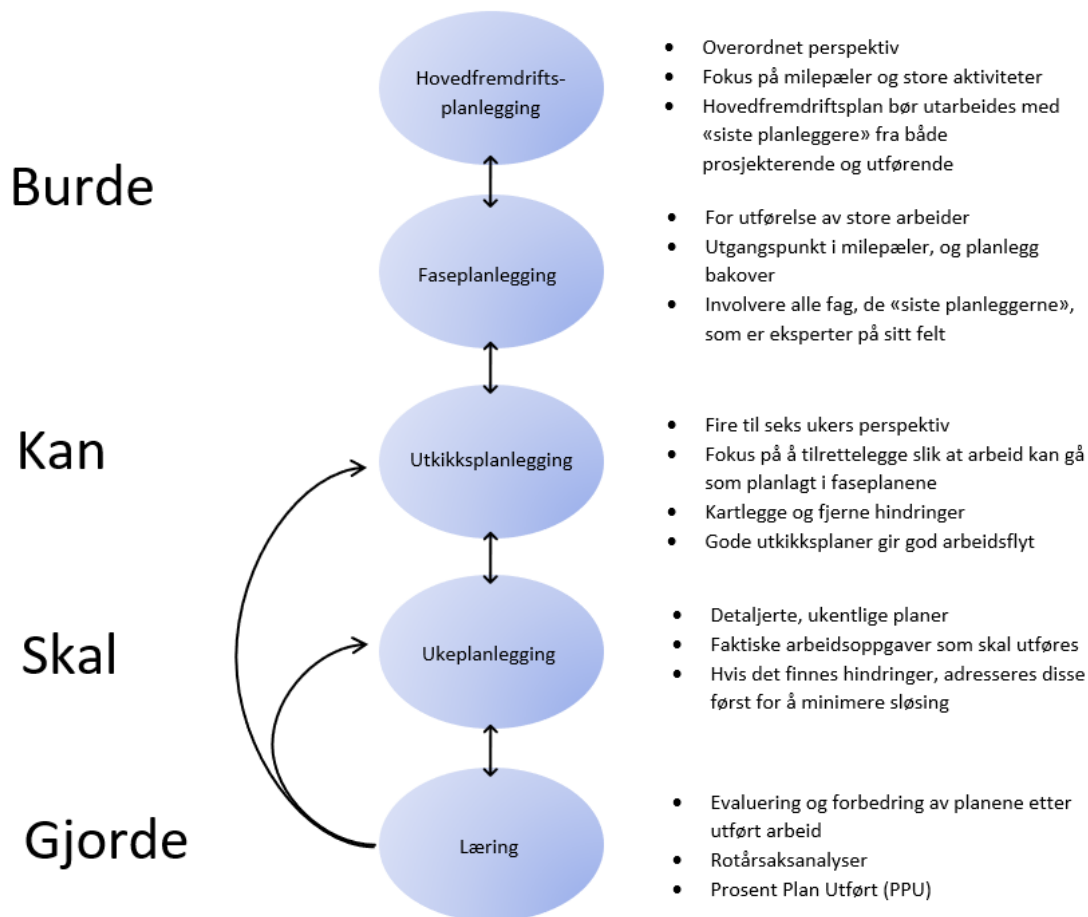
Læring

LPS legger også stor vekt på *læring* (Richert 2017). En konkret måte man kan oppmuntre til læring på, er ved å gjennomføre daglige koordineringsmøter. Her kan de utførende informere om hva som er gjort, og eventuelt justere planen, eller arbeidsmetodene, om det kan forbedre produktiviteten. Slike små, daglige, justeringer er i tråd med Lean-tankegang (Moore 2007, s. 172). Om arbeid ikke har blitt gjennomført etter planen, bør man foreta en rotårsaksanalyse for å kartlegge hva som førte til den uønskede hendelsen (Kenley & Seppanen 2010, s. 113). Dette fører til videre læring slik at man er bedre rustet for senere planlegging.

For å evaluere arbeidet kan PPU (prosent plan utført) være et nyttig verktøy, og det er en sterk korrelasjon mellom PPU og forbedret prosjektprestasjon (Kenley & Seppanen 2010, s. 113). Ved å bruke PPU måler man, for eksempel på ukentlig basis, hvor mye av det planlagte arbeidet som faktisk ble utført. Det finnes dog problemer med denne metoden, blant annet at man kan legge til mange enkle aktiviteter for å kunstig forbedre PPU-scoren (Kenley & Seppanen 2010, s. 133).

Ballard (2000, s. 3-1) bruker begrepet «SHOULD-CAN-WILL-DID» (burde - kan - skal - gjorde). Ballard skriver at for å være effektive, så må plansystemet fortelle hva som burde og kan bli gjort, slik at man kan finne ut hvilke oppgaver som skal utføres. Deretter skal det utførte arbeidet sammenlignes med det planlagte, for å forbedre planleggingsprosessen (Ballard 2000, s. G-15). Punktlisten under, samt figur 5, viser hvordan dette kan relateres til plannivåene i LPS.

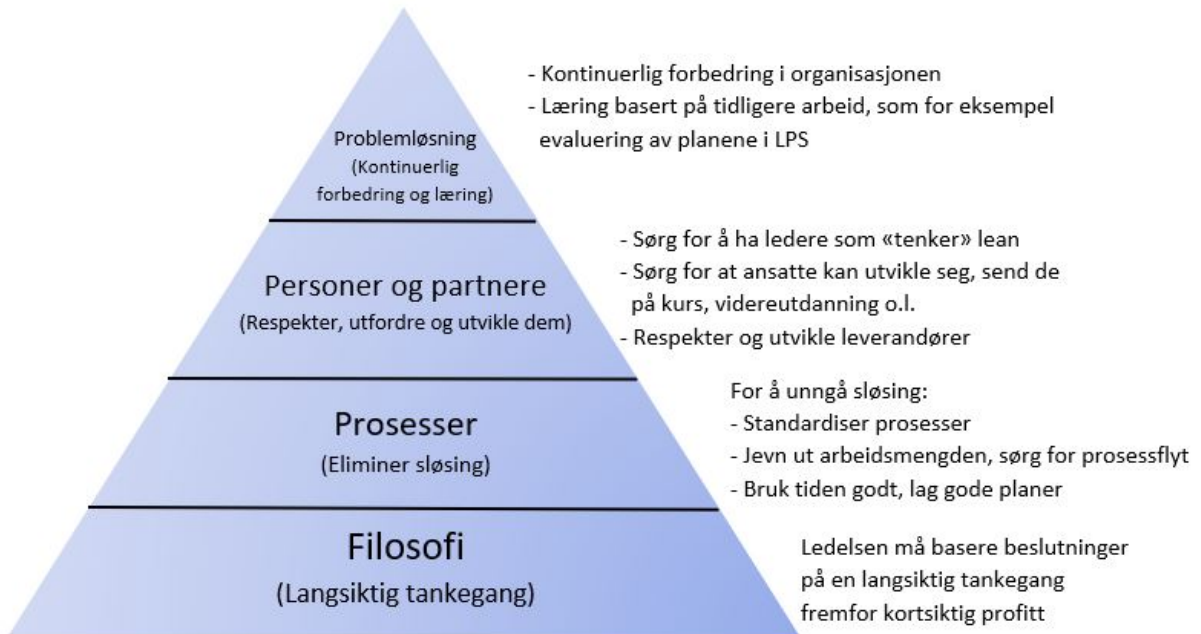
- I hovedfremdrift- og faseplanleggingen finner man ut hva som *burde* bli gjort.
- I utviklingsplanleggingen identifiserer man hindringer, og finner ut hva som *kan* gjøres.
- Ukeplanleggingen fokuserer på hvilke arbeidsoppgaver som *skal* utføres.
- Læringsprosessen tar for seg hva som *ble gjort*, for å kunne forbedre planleggingen til neste gang.



Figur 5: Illustrasjon av Last Planner-systemet, basert på Richert (2017)

3.3 Lean

Lean er betegnelsen på en produksjonsmetodikk for fremstilling av varer og tjenester (Moore 2007, s. 135-157), og har som hovedmål å maksimere verdiskapning og minimere sløsing av ressurser (Ballard et al. 2001). Konseptet Lean ble først anerkjent i bredere kretser etter utgivelsen av bøkene *The Machine That Changed the World*, *Running Today's Factory* og *The Toyota Way* (Moore 2007, s. 135-157). Disse bøkene beskriver hovedsaklig Toyotas effektive produksjonsmetoder, som differensierte seg fra vestlige arbeidsmåter. Lean tankegang fokuserer på prosessflyt, og Moore (2007, s. 152) skriver: «All work shall be highly specified as to content, sequence, timing, and outcome». Videre skriver Moore at alle ledere må forstå sine prosesser, og det at man skal engasjere alle, er sentralt i tilnærmingen. Medarbeidere skal få ansvar og myndighet i sine prosesser, og arbeidet skal foregå i et trygt miljø der en kan være åpne om problemer. I figur 6 fremvises Lean-konseptet i en pyramidemodell.

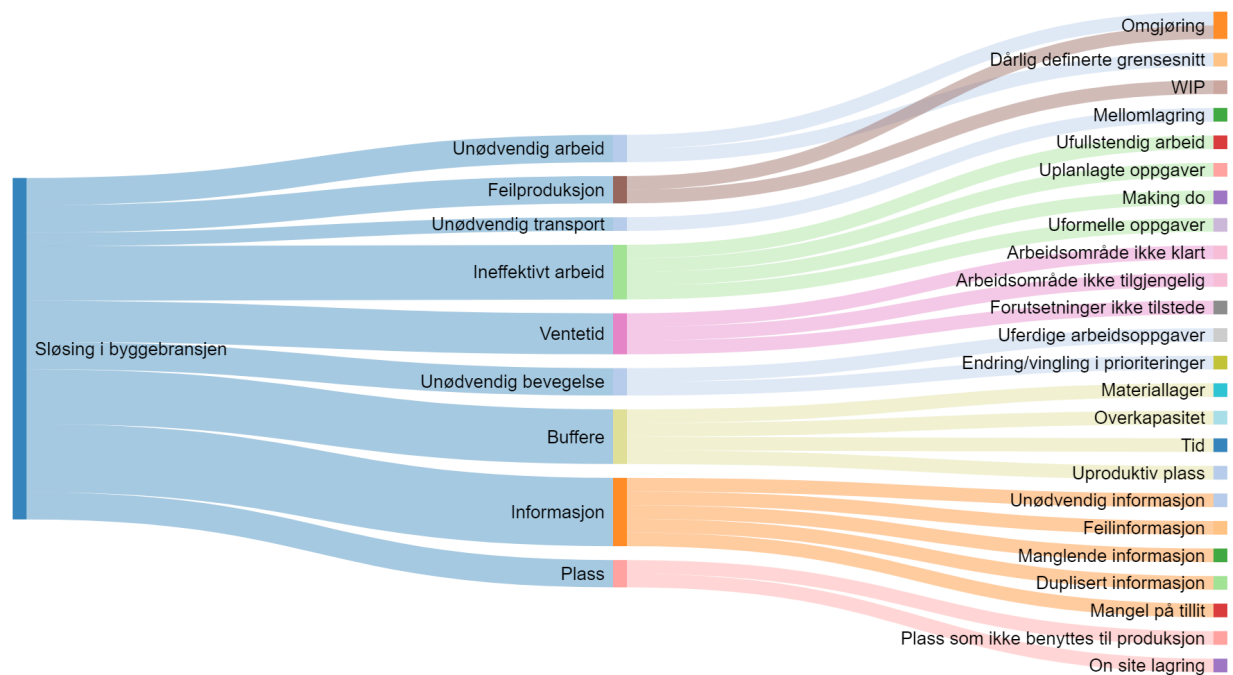


Figur 6: Leans fire hovednivåer, basert på Liker (2004), gjengitt av Moore (2007, s. 142)

I bunn og grunn må ledelsen prioritere langsiktig tankegang fremfor kortsiktig profitt (Moore 2007, s. 141-153). Videre må man ha på plass rette, standardiserte prosesser for å redusere sløsing. Steg nummer tre går ut på å behandle arbeidere og partnere med respekt, samtidig som man skal utfordre dem, før man til slutt tar i bruk diverse verktøy for problemløsning og kontinuerlig forbedring. Essensen av dette er at om en ikke har fundamentet på plass, så vil ingen verktøy kunne hjelpe deg.

3.3.1 Lean Construction

Lean Construction (trimmet bygging) er adaptasjonen og implementeringen av Lean-filosofien til byggeprosessen. Lean-filosofien stammer fra en industrialisert produksjon, serieproduksjon av biler, og ved å adaptere denne til byggeprosessen, antar man samtidig at byggeprosjekter kan sees på som en slags spesiell produksjon (Bertelsen 2004). Sløsing er definert som «enhver aktivitet som forbruker ressurser, men som ikke skaper verdi», og i byggebransjen er dette et stort problem (Josephson & Björkman 2011, s. 21). I figur 7 vises eksempler på sløsing i byggebransjen.



Figur 7: Eksempler på sløsing i byggebransjen, basert på Barreth (n.d.)

Dette er eksempler på sløsing, og en reduksjon av dette kan være med på å effektivisere produksjonen. I byggebransjen opereres det med ulike tall vedrørende hvor mye sløsing det faktisk er. For eksempel mener Josephson & Björkman (2011, s. 23) at ikke-verdiskapende aktiviteter står for minst 30-35% av totale prosjektkostnader. Likevel er det ikke mulig å eliminere sløsing i sin helhet (Martinsen 2018). *Transport av materialer* kan brukes som eksempel, og Martinsen peker på at dette ikke kan fjernes, men at man heller bør fokusere på å begrense transporten. *Venting* er en annen stor kilde til sløsing: I byggebransjen ventes det blant annet på tegninger, materialer, og tilgang til områder (Mossman 2017, s. 5). At et arbeidslag må vente på noe, kan føre til en forsinkelse av deres leveranse. Denne forsinkelsen kan igjen føre til at neste lag må vente, og slik kan forsinkelser forplante seg i prosjektet og forstyrre prosjektflyten.

Feilproduksjon er også sløsing av ressurser som ikke bidrar positivt på produktivetsmålinger. Produktiviteten i bygge- og anleggsnæringen har falt med 10% siden år 2000, samtidig som produktiviteten i markedsrettet virksomhet i Fastlands-Norge har økt med 30% i samme periode (Tødsen 2018). Noe av det viktigste for å bøte på dette, er å redusere antall feil gjennom hele prosessen, både i prosjektering og produksjon (Jonsson 1996, s. 4). Feil som blir gjort av personer involvert i prosessene, er en årsak til at mye unødvendig arbeid blir utført på byggeplasser. Jonsson fant i tillegg til feil, flere andre faktorer som bidrar til sløsing, blant annet:

- Ikke-optimal prosjektering med tanke på produksjon
- Unødvendig intern transport av materialer
- Forsinket / for tidlige leveranser
- Tegninger som ankommer seint
- Dårlig samspill mellom ulike entreprenører
- Arbeidsmetoder eller utstyr som var uegnet
- Dårlig organisering av folk på byggeplassen

Kostnadsbesparelser er den største motivasjonen for å redusere sløsing, men blant annet redusert miljømessig påvirkning, samt mindre arbeidsmengde og stress, er også sentralt (Josephson & Björkman 2011, s. 13-19).

I byggebransjen har det tradisjonelt vært fokus på effektivisering av de enkelte arbeidsoperasjonene, altså de individuelle faggruppene arbeid, for å forbedre produktiviteten (Skinnarland & Moen 2010, s. 13). Lean Construction baserer seg på at dette alene ikke er løsningen på produktivetsproblemer, men at oppmerksomheten hovedsakelig bør rettes mot å sikre godt samspill *mellom* faggruppene. Prosjektledelsen bør derfor fokusere på godt samarbeid og god flyt mellom de ulike underentreprenørene, og ved å gjøre dette vil man kunne effektivisere hele byggeprosessen.

3.4 Standardisering

Standardisering er prosessen fra behov/idé til en ferdig utviklet standard, der en standard er et slags felles oppsett for hvordan lage eller gjennomføre noe (SN 2019). Standardisering bringer med seg mange fordeler, deriblant økt produktivitet. I en studie utført av Menon Economics, viste det seg at standardisering har hatt en betydelig positiv effekt på produktiviteten i de nordiske landene (Grimsby 2018). Studien, som baserer seg på data fra 1976-2014, sier at standardisering er forbundet med en økning i arbeidsproduktiviteten på 39%, og en BNP²-vekst på 28%. Standarder kan også bidra til blant annet økt forutsigbarhet og reduksjon av sløsing. Dette er blant målene som EU prøver å oppnå ved å innføre en felles standard for mobilladere (Blenkinsop 2020). Det er likevel viktig at man ikke ser på standardisering som endelige løsninger, men stadig forsøker å forbedre de:

«Today's standardization, instead of being a barricade against improvement, is the necessary foundation on which tomorrow's improvements will be based. If you think "standardization" as the best you know today, but which is to be improved tomorrow – you get somewhere. But if you think of standards as confining, then progress stops.» - Henry Ford 1926 (Moore 2007, s. 159)

Når dette skal relateres til byggebransjen, er standardisering av både produkter og prosesser et anbefalt tiltak for å redusere sløsing (Josephson & Björkman 2011, s. 35). Denne standardiseringen må gjøres på en slik måte at det ikke har en negativ påvirkning på produktet, og at ikke usikkerhet og frustrasjoner tilknyttet prosessene øker. Ifølge Moore (2007, s. 166) gjenspeiler standardisering den nåværende *beste, letteste, og tryggeste* måten å utføre arbeid på. Moore skriver at standarder fungerer som noe en kan bruke som basis for både vedlikehold og forbedring av arbeidsoppgaver, i tillegg til at det kan fungere som et virkemiddel for å redusere gjentakende feil og variasjon i produksjonen. Standarder bidrar til reduksjon av sløsing, og økt standardisering i byggebransjen er i tråd med tankegangen i Lean. Som Ford poengterte, er standardisering et springbrett for videre utvikling og må ikke ses på som et hinder mot forbedring.

²Bruttonasjonalprodukt, BNP, verdien av de varer og tjenester som er produsert i løpet av et år i et land (Sterri 2017).

4 BIM og 4D BIM

I kapittel 3 gjenga vi nødvendig bakgrunnsteori for å gi innsikt i byggeprosessen, planlegging, standardisering og Lean. Dette kapitlet legger frem kunnskap som er direkte koblet til oppgavens problemstilling, nemlig teori tilknyttet BIM og 4D BIM. Avslutningsvis i dette kapitlet presenteres vår benyttede 4D-programvare, Synchro Pro.

4.1 BIM

Dette delkapitlet beskriver BIM, både arbeidsmetoden (byggningsinformasjonsmodellering) og resultatet (selve byggningsinformasjonsmodellen). Ulik informasjon som tilføres modellen kalles «dimensjoner» og de mest brukte dimensjonene blir gjort rede for i dette delkapitlet. Detaljeringsgraden til en BIM-modell kan endre seg etterhvert som prosjekteringen strider frem, og har stor betydning for hva modellen kan brukes til. Videre behandler delkapitlet koblingen mellom BIM og Lean; selv om de ikke har noen direkte sammenheng, så har arbeidsmetodene en del tilknytninger til hverandre og BIM kan benyttes som verktøy for å bli mer Lean. Avslutningsvis gis det en innføring i BIM-standarder, som blant annet foreslår rutiner for informasjonsutveksling samt hvordan oppbyggingen av modellene kan være.

Forkortelsen BIM kan ha flere ulike betydninger. For eksempel betegner Statsbygg BIM som *byggningsinformasjonsmodell* når det er snakk om produktet, og *byggningsinformasjonsmodellering* når prosessen er i fokus (Skorge n.d.). Andre kaller selve produktet, modellen, for BIM-modell (Linge 2016). Eastman et al. (2011, s. 12) bruker forkortelsen BIM når de refererer til arbeidsprosessene (blant annet produksjon, kommunisering og analysering av en bygningsmodell). Heretter bruker vi BIM-, 3D- og 4D-modell om selve modellene, og BIM / 4D BIM om arbeidsmetodene.

Konseptet BIM har røtter helt tilbake til 1960-tallet, og modelleringsprogrammer ble tilgjengelige i løpet av 1970- og 1980-årene (Smith 2014b). Utviklingen av ArchiCAD i 1982 blir av mange sett på som startskuddet for BIM i byggeindustrien, men det var først da Revit kom på markedet i 2000 at man virkelig så mulighetene for effektiv BIM-implementering. Byggningsinformasjonsmodellering har lenge blitt sett på som en av de mest lovende utviklingene i byggebransjen (Eastman et al. 2011, s. 1), og nå har det virkelig fått fotfeste og anses som en sentral del av ethvert byggeprosjekt i Norge (Brekkehus 2019). Eastman et al. (2011, s. 1) sin beskrivelse av hva BIM-teknologi kan tilføre, går som følger:

«With BIM technology, an accurate virtual model of a building is constructed digitally. When completed, the computer-generated model contains precise geometry and relevant data needed to support the construction, fabrication, and procurement activities needed to realize the building».

Byggningsinformasjonsmodellering er altså kombinasjonen av *informasjon* og *modell*. En ren 3D-modell som ikke har noe informasjon om objektene regnes *ikke* som en BIM-modell (Eastman et al. 2011, s. 15).

BIM er en tverrfaglig arbeidsprosess, som fokuserer på tidlig, digitalt samarbeid (Chew & Riley 2013). De ulike fagene kan, ved å benytte BIM, konstruere en digital versjon av bygget som skal oppføres, og tilføre informasjon til de ulike konstruksjonsdelene. Dette gir alle prosjekters parter en større grad av forståelse for det de faktisk skal bygge, og hvordan deres valg påvirker de andre involverte. Tilførsel av informasjon

om de ulike delene av bygget, utover geometrien, åpner opp for bedre samhandling på tvers av fagene, og bedre kontroll gjennom byggeprosjektet. BIM gir mange muligheter, for ulike aktører, på forskjellige stadier i prosjekter, og noen eksempler på dette er ifølge Eastman et al. (2011, s. 17-21):

- **Før konstruksjon:** Bedre konseptevalueringer, mer byggbare løsninger, åpner opp for bedre planlegging.
- **Fordeler i prosjektering:** Visualisering av løsninger, automatiske endringer i modell, bedre samarbeid på tvers av fag, mulighet for informasjon om kostnader, bærekraft, etc.
- **Muligheter parallelt med bygging:** Synkronisering av design og fremdriftsplaner (4D), man kan identifisere feil i prosjektering *før* det skal bygges, BIM-modellen kan bli benyttet for å enklere bestille prefabrikkerte elementer, gjør det enklere å implementere Lean Construction-teknikker, etc.
- **Etter ferdigstilling:** Integrere informasjon angående drift og vedlikehold i modellen.

4.1.1 Dimensjoner i en BIM-modell

En kan legge inn mye forskjellig informasjon i en BIM-modell, men det vanligste er å jobbe med BIM slik at resultatet blir en tredimensjonal modell. Her vises byggets geometri, samt informasjon om egenskapene til de forskjellige objektene. Ved å tilføre ytterligere informasjon i modellen, kan man legge til flere dimensjoner (Smith 2014a). Typisk blir 3D + tid kalt 4D, og ved å tilføre kostnader til objekter i modellen får man 5D. Ut over dette er det mulig å tilføre nærmest ubegrenset med informasjon til modellen (altså er det mulig med *uendelig antall dimensjoner*). Dette har ført til at det er noe uenighet om hva slags informasjon de videre dimensjonene (6D og 7D) er knyttet til. Etter en undersøkelse som omfattet byggeprosjekter i EU-land, kom Charef et al. (2018) frem til at 6D og 7D oftest er brukt til henholdsvis bærekraft og FDV (forvaltning, drift og vedlikehold), mens andre bruker det motsatt, for eksempel Skanska (Linge 2016).

4.1.2 Modelldetalj

Objekter i en BIM-modell har blant annet informasjon tilknyttet deres geometri. Detaljeringsgrad (Level of Detail, LoD) er et mål på hvor detaljert geometrien og den eventuelt andre informasjonen er. LoD påvirkes gjerne av modellens størrelse, avsatt tid til å lage den, og hvilke sentrale elementer som må vises (Eastman et al. 2011, s. 233). Hvem som prosjekterer, påvirker også detaljeringsgraden: For eksempel kan en arkitekt og en entreprenør ha forskjellige måter å modellere en vegg på, ettersom de har ulike preferanser om hvilken informasjon som er viktig.

Statsbygg skiller mellom krav til detaljnivået for geometri (Level of Geometry, LoG) og annen informasjon (Statsbygg 2019b, s. 19-20), og har opprettet fem nivåer for geometrikravene i modell. Disse løper fra oppstart, og til ferdig bygget prosjekt. Nivåene vises i tabell 4.

Tabell 4: Oversikt over ulike LoG-nivåer og hva de kan brukes til (Statsbygg 2019b, s. 19-20).

LoG-nivå	Eksempler på bruksområder
Level 1	<ul style="list-style-type: none">- Objektet kan brukes til, men er ikke begrenset til, bla. visualisering og vurdering av konsept.- Objektet representerer enten en konseptuell geometri eller et volum.- Objektgeometrien er skissert. Objektets lokasjon og orientering er konseptuell.
Level 2	<ul style="list-style-type: none">- Objektet kan brukes til, men er ikke begrenset til, bla. visualisering og vurdering av det tverrfaglige designkonseptet.- Objektet representerer generiske typer.- Objektgeometri, -lokasjon og -orientering er tilnærmet.
Level 3	<ul style="list-style-type: none">- Objektet kan brukes til, men er ikke begrenset til, bla. kostnadskalkyle og modellkoordinering.- Objektgeometri, -lokasjon og -orientering er eksakt når modellen er tverrfaglig koordinert.
Level 4	<ul style="list-style-type: none">- Objektet kan brukes til, men er ikke begrenset til, bla. innkjøp, planlegging og produksjon.- Alle detaljer som er nødvendige for produksjon og montering er representert i geometrien.- Objekter med tekniske tilkobling eller bærende oppheng skal vise dette presist i geometrien.- Objektgeometri, -lokasjon og -orientering er eksakt.
Level 5	<ul style="list-style-type: none">- Objektet kan brukes i, men er ikke begrenset til, bla. FDVU-prosessene.- Objektgeometri, -lokasjon og -orientering er eksakte ift. det fysiske byggverk.

Det finnes også egne krav utover LoG, som knytter seg til både informasjon og prosess (Statsbygg 2019b, s. 19). Disse kravene er gjerne prosjektspesifikke, men felles for dem er at prosjektstatuskoden *MMI* brukes for å beskrive modenheten av objektene, basert på gjeldende krav.

Modell Modenhetsindeks - MMI

Modell Modenhetsindeks (MMI) beskriver hvor modne BIM-objektene er med tanke på gjeldende krav til informasjon, geometri og prosess (Statsbygg 2019b, s. 15-20). Det er nemlig ikke mulig å se hvor modent et BIM-objekt er for bruk i beslutnings- og kvalitetssikringsprosesser kun ut fra objektets geometri. Det visuelle detaljeringsnivået til et enkelt BIM-objekt blir sjeldent endret i løpet av prosjektfasene, men det kan likevel forandre dimensjon, lokasjon, type, material, egenskaper, etc. Ettersom bruk av BIM har blitt mer integrert i byggeprosjekter, ut over kun i prosjekteringsprosessene, så har det oppstått et behov for å antyde hvor modent et BIM-objekt er, samt hva det hensiktsmessig kan brukes til. Er det nok informasjon til å bruke objektet slik at det kan bygges som modellert, eller er det kun en omtrentlig skisse? For å dokumentere objektets modenhet, så blir en MMI-kode angitt til objektet. Denne koden endrer seg i løpet av prosjektet, for eksempel fra det er ferdig prosjektet og klart for tverrfaglig kontroll (MMI300), og til etter det er ferdig kontrollert (MMI350).

Det finnes flere forskjellige systemer for prosessstatuskoding, men blant utførende er det MMI som er mest utbredt (Statsbygg 2019b, s. 16). I 2018 ga Entreprenørforeningen Bygg og Anlegg (EBA), i samarbeid med Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) og Arkitektbedriftene, ut en veileder for bruk av MMI (Fløisbonn et al. 2018). Denne veilederen forklarer hvordan MMI kan brukes i prosjekter, og figur 8 viser hvordan en MMI-prosess kan se ut, med tilhørende forslag til MMI-nivåer.



Figur 8: Forslag til MMI-prosess med tilhørende MMI-nivåer, basert på Fløisbonn et al. (2018, s. 4)

Veilederen presiserer at man bør tilpasse MMI-bruk til ethvert prosjekt, og et eksempel på hvordan man kan bruke MMI-nivåer i prosjekter vises i tabell 5 (Fløisbonn et al. 2018, s. 4). Man trenger ikke benytte alle nivåene og det vil også være mulig å legge til flere nivåer basert på behov fra prosjekt til prosjekt (Statsbygg 2019a, s. 18).

Tabell 5: Forslag til bruk av MMI-nivåer, med tilhørende beskrivelser, basert på (Fløisbonn et al. 2018, s. 4).

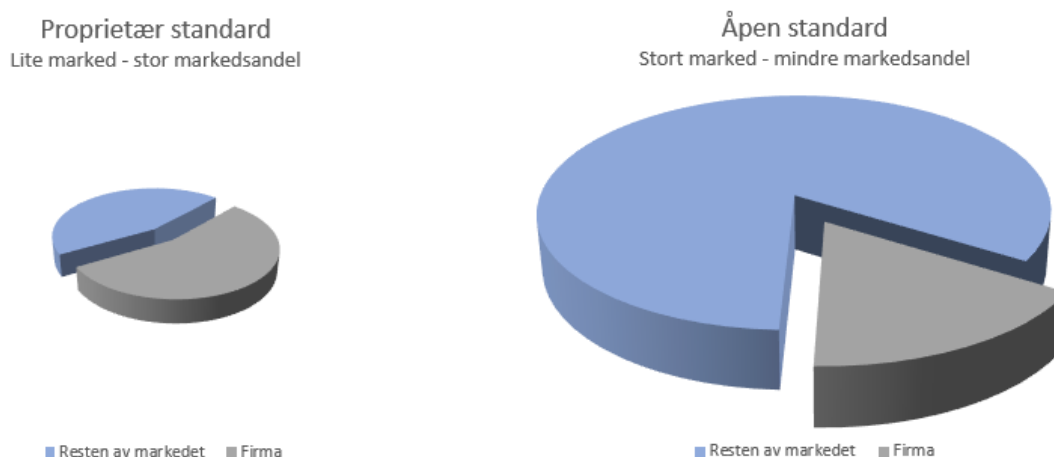
MMI nivå	Beskrivelse
MMI 100: Skisse	Proessen frem mot MMI 100 innebærer å etablere ett eller flere forslag til løsning. Objekter med MMI 100 anses som et skisseforslag.
MMI 200: Ferdig konsept	Objektene anses som gjennomtenkt, det vil si at det ikke skal forekomme større endringer av objektet etter MMI 200.
MMI 300: Klar for tverrfaglig kontroll	Ved MMI 300 skal objekter være modellert med riktig størrelse og plassering, og de skal ikke kollidere med andre objekter innen samme disiplin.
MMI 350: Utført tverrfaglig koordinering	Objektene skal være tverrfaglig koordinert. Objektene oppnår ikke MMI 350 før ved slutført koordinering mellom alle tilgrensende disipliner.
MMI 400: Produksjonsunderlag	Objekter med MMI 400 er kontrollert og godkjent for bygging.
MMI 500: Som bygget	Avhengig av krav til «som bygget»- dokumentasjon oppdateres modellen i henhold til denne statusen av de prosjekterende.

4.1.3 Kobling mellom BIM og Lean

Lean og BIM, som er beskrevet henholdsvis i kapittel 3.3 og kapittel 4.1, har begge svært stor påvirkning på byggebransjen (Sacks et al. 2010). Arbeidsmetodene er ikke direkte avhengige av hverandre, slik at én av dem kan brukes uten å ta i bruk den andre (Bråthen & Moland 2015, s. 16). Det er likevel slik at bruk av BIM og Lean *sammen* potensielt kan forbedre byggeprosessen (Dave et al. 2013, s. 2-6). Dette kan gå begge veier; bruk av BIM kan gjøre det lettere å oppnå Lean-mål, og ved å tilrettelegge for en Lean-prosess vil det potensielt bli enklere å akselerere adopsjon og bruk av BIM. Eastman et al. (2011, s. 20) diskuterer også sammenhengen mellom BIM og Lean. Eastman et al. skriver at trimmet bygging (Lean Construction) krever god koordinasjon mellom hoved- og underentreprenører for å sørge for at arbeid kan utføres med minst mulig sløsing. Med BIM kan en få en detaljert modell av bygget, og dette fører til at pålitelige mengdeuttak blir enklere. Dette gir et bedre planleggingsgrunnlag for underentreprenører og leverandører, som gjør det lettere å tilrettelegge for «just-in-time»-leveranser av personell, utstyr og materialer. Dette medfører reduserte kostnader, og åpner opp for bedre samspill på byggeplassen. BIM gir også prosjektaktører mulighet til å visuelt kontrollere bygget (Sacks et al. 2010), og visuelle kontroller er med på å tydeliggjøre problemer, som videre reduserer sløsing (Moore 2007, s. 144).

4.1.4 BIM-standarder

Standardisering er sentralt i forbindelse med digitalisering i byggebransjen, og dette delkapittelet gir en kort innføring i noen utvalgte IT-standarder. Standarder er enten åpne eller proprietære: Målet med en proprietær standard er å skape et monopol slik at eventuelle kunder må betale for å bruke den (Aggarwal et al. 2006). En åpen standard, derimot, har som mål å spre kunnskap og gagne samfunnet. Proprietære standarder er altså firma-fokuserte, mens åpne standarder er bransjeorienterte. Aggarwal et al. (2006) sammenligner målene med de to ved hjelp av et «kake»-eksempel. Kaken er i denne sammenhengen hele markedet, mens kakestykket er et firmas markedsandel, se figur 9.



Figur 9: Illustrasjon av forskjellen mellom proprietære og åpne standarder.

Man kan være like fornøyd med et lite stykke av en stor kake, fremfor et stort stykke av en liten kake. Et firma må derfor bestemme seg for hvorvidt de vil jobbe mot en større andel i et lite marked (proprietær standard), eller mot en potensielt mindre andel i et større marked (åpen standard).

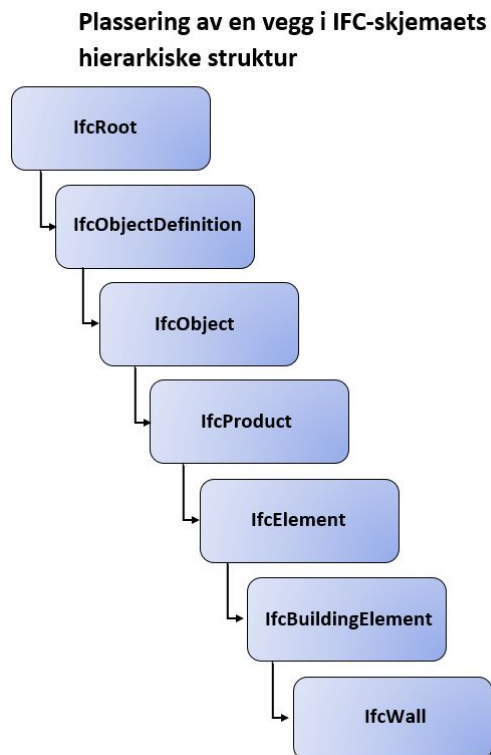
Innenfor BIM er det mange proprietære filformater og lukkede økosystemer som gjør at informasjon ikke nødvendigvis kan deles åpent med alle (Dave et al. 2018). Dette har ført til et ønske om å øke bruken av åpne standarder for informasjonsutveksling, blant annet har Statsbygg som mål at: «...utveksling av krav, modeller og tilbakemeldinger skal, så langt praktisk mulig, gjøres med åpne standarder» (Statsbygg 2019b, s. 10). På bakgrunn av dette fokuserer denne oppgaven på åpne, fremfor proprietære, standarder.

IFC - Industry Foundation Classes

IFC er en åpen, internasjonal ISO-standard, som ikke er kontrollert av noen enkeltaktør. Det er et bransjespesifikt datamodellskjema som beskriver selve byggverket som en objektmodell, med objekter, attributter, relasjoner og egenskaper (Statsbygg 2019b, s. 11). IFC blir brukt til å utveksle digitale beskrivelser av informasjon knyttet til det som skal bygges (buildingSMART n.d.). Med IFC kan man tilføre informasjon om blant annet:

- identiteter (navn, objekttype, maskinlesbare ID'er, funksjon)
- karakteristikk eller egenskaper (materialtype, farge, termiske egenskaper)
- forhold (lokasjoner, koblinger, eierrettigheter)
- objekter (vegger, søyler, dekker)
- konsepter (feks kostnader)
- prosesser (installasjon, operasjoner)
- mennesker (eiere, prosjekterende, utførende, leverandører, etc)

IFC er designet for å dekke all informasjon om bygget gjennom hele livssyklusen (Eastman et al. 2011, s. 73-76). Dette gjelder helt fra idéfasen til bruksfasen, og i tillegg støtter IFC de ulike prosessene som inngår i byggeprosessen (programmering, prosjektering, produksjon). IFC er bygget opp med en hierarkisk struktur, og man kan plassere ethvert objekt i tydelig definerte grupper. Et eksempel på dette er lagt frem i figur 10, som viser plasseringen av en vegg i hierarkiet.



Figur 10: Illustrativt eksempel på hvordan en vegg (IfcWall) er plassert i IFC-hierarkiet, basert på informasjon fra buildingSMART (2020) og Akin (2011, s. 129)

Som vist er IfcWall en underklasse av IfcBuildingElement, som igjen er en underklasse av IfcElement, og så videre (buildingSMART 2020). Øverst i IFC-hierarkiet finner vi IfcRoot, hvor blant annet global unik ID (GUID) blir tildelt objekter. Hensikten med denne strukturen er å plassere informasjon i den klassen den hører hjemme, og undergruppene «arver» den informasjonen som de overordnede klassene har (Akin 2011, s. 129). For eksempel vil noen av egenskapene en vegg skal ha, være noe som er felles med noe alle bygningsdeler også har; den må ha en lokasjon, en materialtype, en ID osv. Ettersom alle bygningsdeler har slik informasjon, blir det definert i en overordnet klasse (i dette tilfellet er slik informasjon for veggen tildelt i IfcElement).

NS 8360 BIM-Objekter

Standard Norge (SN), som er Norges ledende aktør på nasjonal og internasjonal standardisering, ga i 2015 ut NS 8360 BIM-Objekter (SN 2015a). Denne gir retningslinjer for typekoding og klassifikasjon av objekter, samt kobling av egenskaper og verdier til IFC-modellen. På sine nettsider skriver Standard Norge at:

«Standarden skal understøtte automatisk gjenkjenning av objekttyper og informasjonen om objekttyper og objektforekomster mellom ulike IFC-kompatible programmer, og på den måten bidra til å gi økt effektivitet og kvalitet ved bruk av bygningsinformasjonsmodeller. Dette vil gi enklere tilgang til informasjon, redusere antall feilkilder, øke gjenbrukbarhet av data og redusere dobbeltarbeid» (SN 2015a).

NS 8360 er den første BIM-standarden som er utviklet i Norge. Den er i utgangspunktet frivillig å følge, men for å få fullt utbytte av BIM, vil standarden potensielt ha en viktig rolle (SN 2015b). For NS 8360 er det også utviklet en veileder som har til hensikt å gi prosjektdeltakere ytterligere forståelse for hva standarden inneholder, samt beskriver den noen praktiske eksempler (SN 2017).

NS 8351 Byggetegninger

NS 8351 Byggetegninger er en annen standard utgitt av Standard Norge (SN 2010). Denne fastsetter regler for utforming av navn på lag som benyttes for plassering av både bygnings- og tegningsdeler for DAK³-tegninger i byggebransjen. Laginndelingen er logisk oppbygd med koder, og tabell 6 gir eksempler på hvordan man kan navnsatte objekter i henhold til standarden.

Tabell 6: Eksempel på navnssetting i henhold til NS 8351 Byggetegninger (SN 2010, s. 3)

Kode	Beskrivelse
20–	Bygning, generelt
23–	Yttervegger
231-	Bærende yttervegger
2311	Bærende yttervegger, betong

³DAK = Dataassistert Konstruksjon

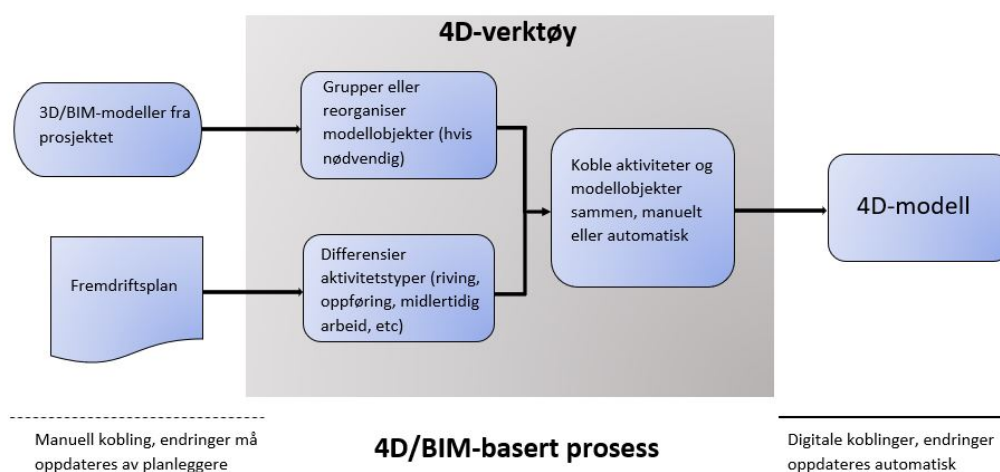
4.2 4D BIM

Dette delkapittelet går dypere inn på hva 4D BIM er, samt hvordan det brukes i dag. Det presenterer også 4D-programvaren som har blitt benyttet for å gjennomføre eksperimenter i denne oppgaven, Synchro Pro.

4D BIM er en planleggingsprosess, der aktivitetene i en fremdriftsplan kobles sammen med objekter i en 3D-modell for å simulere en, eller deler av en, byggeprosess (Smith 2014a). Ifølge Eastman et al. (2011, s. 228) er det tre ulike fremgangsmåter for 4D-modellering:

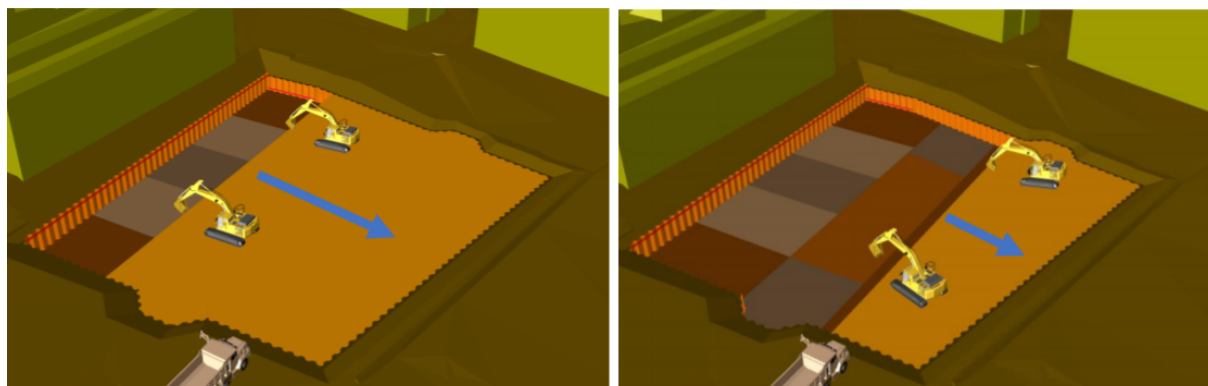
1. Manuell metode ved hjelp av 3D- eller 2D-verktøy: Dette har blitt gjort i årevis, for eksempel ved fargelegging av arbeidsområder for å vise sekvenser. Dette kan også overføres til 3D, der forskjellige farger, skygger og lag i modellen viser potensiell fremdrift. Denne metoden er arbeidskrevende, og om det forekommer endringer i fremdriftsplanen, må modelleringen gjøres på nytt. Derfor begrenser bruk av denne metoden seg ofte til tidlige faser av et prosjekt, der klienten kan ha et ønske om å få gjennomføringen visualisert.
2. Innebygde 4D-funksjonaliteter i et 3D- eller BIM-verktøy: Denne metoden baserer seg på at man modellerer og planlegger direkte i 4D-verktøyet. Hvert objekt tilegnes tidsinformasjon, og på den måten kan man visualisere oppføringen av bygget. Denne metoden kan egne seg for veldig enkle 4D-demonstrasjoner, eller øyeblikksbilder av byggeprosessen. Metoden støtter ikke direkte kobling av 3D-modell og fremdriftsplan.
3. Eksport av 3D-modell og fremdriftsplan til et 4D-verktøy: Denne metoden går ut på å eksportere en eksisterende 3D-modell av bygget til et 4D-verktøy. Hit kan man også importere fremdriftsplaner, og man kan koble aktivitetene i denne opp mot objektene i 3D-modellen.

Det er den siste metoden, med programvaren Synchro Pro, som ifølge Bjørnstad et al. (2019, s. 69) er mest utbredt i Norge per våren 2019. I figur 11 vises en prinsippskisse av hvordan fremdriftsplan og 3D-modell kan bli slått sammen til en 4D-modell (ved bruk av den tredje fremgangsmåten som ble beskrevet over).



Figur 11: Prinsippskisse for sammenslåing av 3D-modell og fremdriftsplan til en 4D-modell, basert på Eastman et al. (2011, s. 230).

4D BIM gjør at man kan visualisere den planlagte byggeprosessen og utviklingen av byggeplassen over tid. I figur 12, som er hentet fra masteroppgaven *BIM 4D – Prosjektstyring og Visualisering* (Bogen 2018, s. 54), vises to ulike utklipp fra 4D-modellen som ble benyttet på prosjektet «Østensjøveien 16». Utklippene er gjort ved to ulike tidspunkt, og man kan se hvordan byggeplassens utvikling er planlagt i mellomtiden.



Figur 12: Vekstsimulering av graveetapper (Bogen 2018, s. 54).

Detaljeringsgrad

Hvor detaljert en 3D-modell må være for at den skal fungere godt som grunnlag for en 4D-modell vil variere ut ifra tiltenkt bruk. For detaljerte arbeider som krever nøye planlagte aktiviteter (for eksempel installasjon av komplekst utstyr), er det ofte slik at 3D-modellen må være av høy kvalitet (Eastman et al. 2011, s. 233). En 4D-modell kan brukes på alle plannivåer i et byggeprosjekt. Likevel, om man ønsker å benytte seg av 4D BIM til ukeplanlegging, *i tillegg* til i faseplaner, kan det være at detaljeringsgraden må økes. Noen 4D-programvarer lar brukeren tilpasse modellens detaljeringsgrad, ved at objekter kan splittes opp for å tilpasse dem til aktivitetene i en fremdriftsplan. For noen aktiviteter kan dette være nyttig, ettersom planleggeren kan ha behov for å organisere objektene på en annen måte enn de prosjekterende.

For 4D-modeller er ikke detaljeringsgraden nødvendigvis begrenset til objektens geometri og informasjon (Butkovic et al. 2019). For eksempel kan LoD (Level of Detail) deles opp i LoD_g (Level of Graphical Detail), og LoD_t (Temporal Level of Detail). LoD_g kan betegnes som hvor detaljrik geometrien i modellen er, mens LoD_t i dette tilfellet går ut på hvor ofte modellen skal forandre seg, altså hvor dynamisk simuleringen skal være.

I en instruksjonsvideo til Synchro Pro, legger Schimpf (2019) vekt på at det nødvendige detaljnivået til en 4D BIM-modell avhenger av hva prosjektledelsen ønsker å bruke modellen til. Er det slik at 4D BIM skal brukes som en del av overordnet og langsiktig planlegging, eller skal det brukes til ukesplanlegging eller prosjektoppfølgning? I tabell 7 lister vi opp deres forslag til hvordan detaljeringsgraden kan tilpasses ulike plannivåer og bruksområder.

Tabell 7: Eksempler på detaljeringsgrader som 4D-modeller kan ha for å være tilpasset ulike bruksområder (Schimpf 2019).

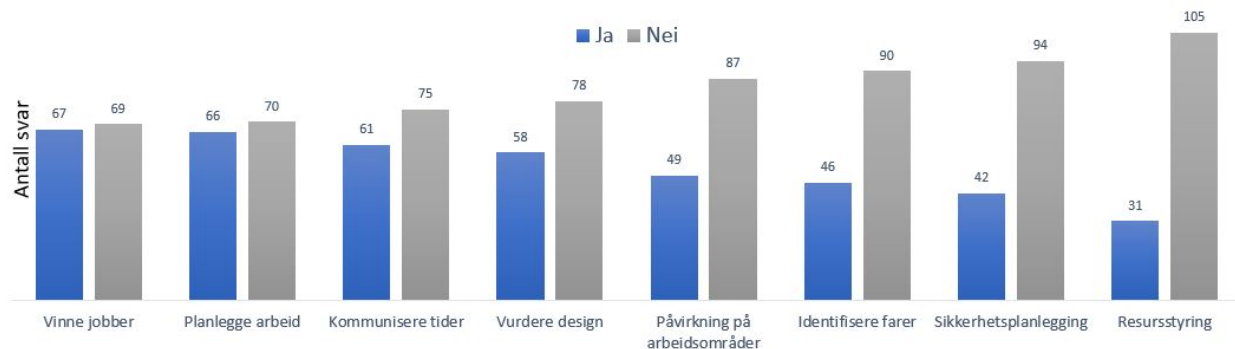
Plannivå	Ønsket bruksområde for 4D-modellen	Foreslått detaljeringsgrad i modellen
Hovedfremdriftsplan	Generelle sekvenser og avhengigheter. Antall, plassering og type utstyr og maskiner.	Lav: Store, overordnede aktiviteter i planen. Grov modell med markerte arbeidsområder, gruppering av ressurser (objekter).
Fasesplan	Estimere varigheter i fremdriftsplanen basert på mengder i modell.	Medium: Mengder må projekteres nært mot det som skal bygges.
Utkvikksplan	Koordinere fag, logistikk på byggeplass, rekkefølger på støp.	Medium/Høy: Dekker må splittes i korrekte størrelser. Dronebilder kan legges til for å reflektere forhold på byggeplass. Benytte pull-planlegging for robuste planer.
Prosjektoppfølgning	Earned Value (EV), forandre på planen ettersom faktisk produksjon forandrer seg.	Medium/Høy: Faktiske varigheter og produksjonsrater legges til 4D-modellen. Slik får man en oversikt over trender i produksjonen.
Driftsanalyse	Logistikk, nødvendig arbeidskraft, hva slags utstyr som må skaffes, optimering, etc.	Høy: Aktivitetsvarigheter er i timer eller minutter. Laserscanning kan benyttes for nøyaktig modell.

4.2.1 Hvordan brukes 4D BIM og hva er oppfatningene om hvor det er nyttig?

Her presenteres resultater fra kvantitative spørreundersøkelser utført i Storbritannia for å kartlegge bruk av, og oppfatninger om, 4D BIM. For å få et innblikk i hvordan situasjonen er i Norge, er det også tatt med noen utdrag fra nettstedet, samt resultater fra intervjugjennomgangen.

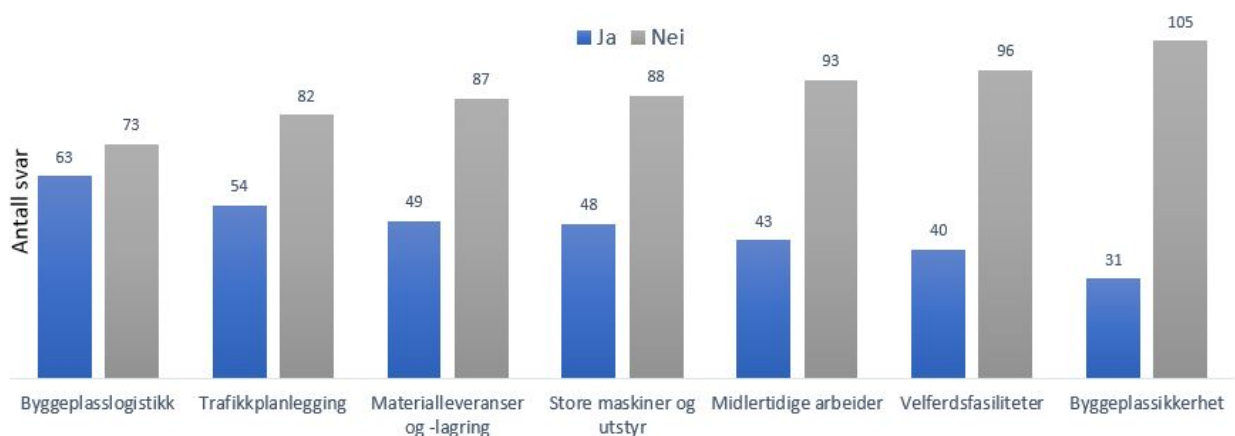
Gledson & Greenwood (2016) publiserte i 2016 et paper der de hadde gjennomført en spørreundersøkelse for å kartlegge utbredelsen og bruken av 4D BIM i Storbritannia. Undersøkelsen ble sendt ut til eksperter innen planlegging av byggeprosjekter i Storbritannia. De fikk totalt 175 svar, hvor 136 av de ble definert som fullstendige og tatt med til videre analyse. Litt over halvparten svarte at de jobbet for store selskaper. Videre opplyste 52,9% at de hadde brukt 4D BIM på prosjekter, 13,2% bekreftet at firmaet hadde utforsket bruk av 4D, men hadde enda ikke testet det på prosjekt. 22,1% hadde ikke brukt 4D i sitt firma og 11,8% var usikre.

Deltakerne i undersøkelsen ble blant annet spurt om de kunne bekrefte at de har brukt 4D BIM innen åtte ulike forhåndsdefinerte kategorier (Gledson & Greenwood 2016). Bruk av 4D BIM for å vinne jobber var det alternativet som flest av deltagerne hadde benyttet seg av; med 67 som kunne bekrefte, mot 69 stk som ikke hadde brukt 4D til dette. De øvrige resultatene vises i figur 13.



Figur 13: Kartlegging av utbredelsen til bruk av 4D BIM tilknyttet planlegging, i Storbritannia, basert på Gledson & Greenwood (2016).

Deltakerne ble også spurt om de kunne bekrefte at de har brukt 4D BIM til planlegging av sju ulike forhåndsdefinerte kategorier eller aspekter innen riggplanlegging. Resultatene vises i figur 14.



Figur 14: Kartlegging av hvilke områder innen riggplanlegging 4D BIM er brukt til, i Storbritannia, basert på Gledson & Greenwood (2016).

Tabell 8 viser ytterligere resultater fra spørreundersøkelsen som ble foretatt av Gledson & Greenwood (2016). Tabellen viser hvordan et utvalg planleggere i Storbritannia svarte at de opplever 4D-planlegging sammenlignet med tradisjonelle metoder (fritt oversatt fra engelsk). Det var gitt sju forhåndsdefinerte aspekter innen planleggingsprosesser, og de kunne velge mellom svaralternativene «dårligere», «likegyldig», «litt bedre egnet» eller «vesentlig bedre enn tradisjonell planlegging». Av tabellen ser man blant annet at 84,6% har svart at de oppfatter bruk av 4D BIM som vesentlig bedre enn tradisjonelle metoder når det kommer til å kunne visualisere byggeprosessen.

Tabell 8: Rangering av tradisjonell planlegging kontra å bruke 4D BIM, innen gitte aspekter i planleggingsprosesser (Gledson & Greenwood 2016).

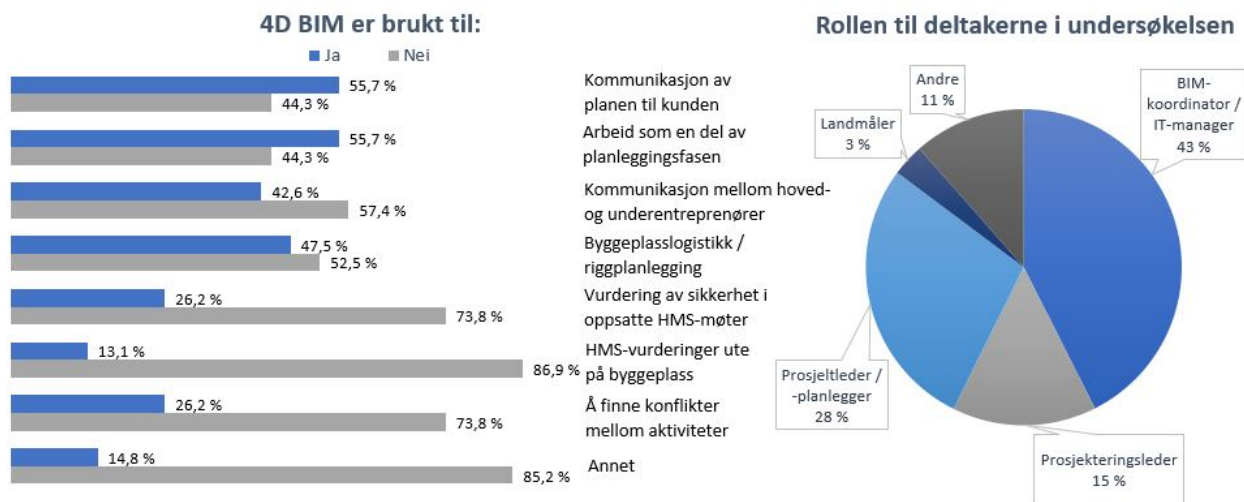
Aspekt innen planleggingsprosesser	Tradisjonell bedre enn 4D		Tradisjonell likeverdig med 4D		4D gir liten forbedring		4D gir signifikant forbedring		Totalt	
	%	Antall	%	Antall	%	Antall	%	Antall	%	Antall
Vinne jobber	5,9	8	9,6	13	26,5	36	58,1	79	100	136
Planlegge byggeprosessen	5,1	7	9,6	13	33,8	46	51,5	70	100	136
Visualisere byggeprosessen	2,9	4	6,6	9	5,9	8	84,6	115	100	136
Forstå byggeprosessen	5,1	7	4,4	6	22,8	31	67,6	92	100	136
Verifisere fremdriftsplanen	10,3	14	17,6	24	36,8	50	35,3	48	100	136
Lokasjonsbasert planlegging	8,1	11	11,0	15	43,4	59	37,5	51	100	136
Rapportere fremdrift	11,0	15	11,0	15	39,7	54	38,2	52	100	136

Senere i undersøkelsen fikk planleggerne spørsmål tilknyttet de ulike stadiene i planleggingsprosessen: Her skulle de svare på til hvilken grad de mente 4D-planlegging kunne tilføre verdi til sju forhåndsdefinerte steg i planleggingsprosessen. Blant annet kategoriserte 79,4% 4D BIM som vesentlig bedre enn tradisjonelle metoder når det kommer til å kommunisere planen. Ytterligere svar finnes i tabell 9.

Tabell 9: Rangering av tradisjonell planlegging kontra å bruke 4D BIM, innen gitte steg i planleggingsprosessen (Gledson & Greenwood 2016).

Steg i planleggingsprosessen	Tradisjonell bedre enn 4D		Tradisjonell likeverdig med 4D		4D gir liten forbedring		4D gir signifikant forbedring		Totalt	
	%	Antall	%	Antall	%	Antall	%	Antall	%	Antall
Innsamling av informasjon	5,9	8	17,6	24	35,3	48	41,2	56	100	136
Identifisere aktiviteter	4,4	6	19,9	27	42,6	58	33,1	45	100	136
Vurdering av varigheter	6,6	9	27,9	38	44,9	61	20,6	28	100	136
Se logiske sammenhenger	8,8	12	15,4	21	41,2	56	34,6	47	100	136
Rekkefølger/ Sekvenser	4,4	6	11,8	16	39,2	52	45,6	62	100	136
Vurdere prosjektvarighet	7,4	10	20,6	28	47,8	65	24,3	33	100	136
Kommunikasjon av planen	2,2	3	1,5	2	16,9	23	79,4	108	100	136

Butkovic et al. (2019) gjennomførte også en spørreundersøkelse for å kartlegge status tilknyttet bruk av 4D BIM i Storbritannia. Respondentene bestod hovedsaklig av personer som har jobbet i bransjen i over 15 år, og som involverer seg i prosjekter hvor det benyttes BIM. Figur 15 viser hva deltakerne har brukt 4D BIM til, samt en oversikt over deres roller.



Figur 15: Hva 4D BIM er brukt til i byggeprosjekter (til venstre) i Storbritannia og hvilke roller deltakerne i undersøkelsen har, basert på Butkovic et al. (2019).

Vedrørende bruk i Norge, skrev Byggeindustrien (2016) at Veidekke, som første entreprenør i Norge, gjorde Synchro tilgjengelig for alle sine prosjekter. Eirik Kristensen, BIM-ansvarlig i Veidekke, uttalte i den forbindelse:

«Kombinasjonen av Involverende Planlegging og 4D gjør prosjektet enklere å forstå og sikkerheten øker fordi man i detalj har planlagt alle operasjoner lenge før arbeidet på byggeplass iverksettes. Vi vil spare både tid og penger når flere får visuelle og detaljerte fremstillinger av modellen.»

I 2017 ble det, på samme nettsted, publisert enda en artikkel om Veidekkes bruk av 4D BIM. Artikkelen omtaler ett prosjekt, og her ble 4D BIM benyttet både til planlegging og i produksjon (Sletteng 2017). Under planleggingen var bruken av 4D BIM blant annet avgjørende for valg av kranplassering, og de brukte Synchro Site i produksjonen for å følge opp fremdriftsplanen. Fremdriftsplanen var serverbasert, (med Synchro sin egen løsning) og alle justeringer, kommentarer og endringer ble gjort i sanntid. Disse ble dermed umiddelbart synlige for hele arbeidsteamet.

Ifølge Bjørnstad et al. (2019, s. 69) har 4D-verktøy blitt testet på flere norske byggeprosjekter, med varierende hell. De skriver også at Synchro er det mest utbredte 4D-verktøyet i Norge. Mange ser på 4D-verktøy som verdifulle, men opplever at programvarene er for kompliserte, og mange har utfordringer med å implementere det i sin organisasjonsstruktur.

Gunnar Skeie, leder for VDC-avdelingen i Kruse Smith, opplyste i intervju med Bjørnstad et al. (2019, Vedlegg s. 4-7) at 4D BIM hovedsakelig brukes for å planlegge produksjon, samt til visualisering av hvordan

man har tenkt til å bygge. Skeie trekker frem et prosjekt der Synchron ble benyttet for å foreslå et alternativ til byggherrens opprinnelige plan. Videre forteller han at 4D BIM sjelden har blitt introdusert tidlig nok til at de har kunnet si «sånn kan vi ikke bygge», eller «vi må angripe det på en annen måte». Skeie mener at hvis dette blir tilfelle, så vil man virkelig få effekt av 4D BIM. Viktigheten av tidlig involvering ble også understreket av Eva Kathrine Frøisland, BIM-koordinator i Origo Arkitektgruppe: «Bestilling og krav til nivå av modell må lages og inn i prosjektene tidlig for at en skal benytte 4D i prosjektet. Det bør forankres i kontrakt for alle parter i et prosjekt» (Bjørnstad et al. 2019, Vedlegg s. 21).

4.2.2 Anvendt programvare - Synchron Pro

I denne masteroppgaven har vi valgt å benytte oss av programvaren Synchron Pro, som er en av flere tilgjengelige 4D-verktøy tilpasset byggebransjen. Dette kapittelet gir en oversikt over hva Synchron plattformen tilbyr, samt hvordan deres 4D-modul Synchron Pro svarer til hva man kan forvente av en 4D-programvare. Funksjonene som Synchron Pro tilbyr blir sett i sammenheng med hva Eastman et al. (2011) beskriver som viktige faktorer å ta hensyn til når man velger 4D-programvare.

Synchron Software ble etablert i England i 2001 med et hovedmål om å forbedre byggebransjen med verktøy fra sin digitale 4D-konstruksjonsplattform (Synchron 2020). Plattformen består av en rekke moduler som er utviklet over tid, med bakgrunn i Synchron sitt mål om å knytte Lean sammen med digitale planleggings- og produksjonsmetoder. Siden begynnelsen, har Synchron vært i stor vekst og etterhvert opparbeidet seg en internasjonal kundekrets med et bredt spekter av kunder. Sommeren 2018 ble Synchron Software kjøpt opp av Bentley (Byrne 2018).

Synchron er en plattform som består av flere moduler, og sammen danner modulene et avansert økosystem for planlegging og ledelse av prosjekter i et 4D-miljø. I denne masteroppgaven studerer vi kun Pro-modulen, men vi gir likevel en presentasjon av de andre modulene også, for å gi en helhetlig oversikt over hva Synchron plattformen har å tilby (Li 2018):

- *Synchron Pro*: Selve modelleringsmodulen. Her kan man importere eksisterende BIM-modeller, og knytte de sammen med en fremdriftsplan for å lage en 4D BIM-modell. Det er i denne modulen eksperimentene i forbindelse med denne masteroppgaven er gjort.
- *Synchron Scheduler, SCH*: En modul for fremdriftsplanlegging. I SCH kan man blant annet opprette aktiviteter, beregne varigheter ved gitte produksjonsrater og mengder, kalkulere den kritiske stien, finne start- og sluttdatoer.
- *Synchron Workgroup Project, SWP*: En server som lar flere brukere jobbe i samme fil, samtidig. Det er ikke begrenset til kun Pro-modulen, men også fra Open Viewer, Scheduler, Site (via Link API), XR (via Link API), og andre tredjeparts applikasjoner. Fungerer som et prosjekthotell som gir alle involverte oppdatert sanntidsinformasjon.
- *Synchron Site*: En modul som lar prosjektdeltakere ta med seg 4D-modellen ut på byggeplassen, for eksempel på iPad. Modulen kan brukes til å visualisere og stemme av faktisk utført arbeid mot planlagt fremdrift.
- *Synchron XR*: Muliggjør visualisering av modellen i virtuell virkelighet med HoloLens.
- *Synchron Open Viewer, OVR*: Gir mulighet til å åpne vilkårlige 4D-modeller; her kan man blant annet spille av animasjoner, endre visninger, justere fokustiden eller opprette markeringer i modellen.

- *Synchro Link API*: Sørger for kommunikasjon mellom programvarene og applikasjonene til SWP. Applikasjonene kobler seg til Link for å få prosjektdata og sender inn endringer til et prosjekt, som blir oppdatert i prosjekthotellet.
- *Synchro Modeler*: Denne modulen muliggjør modellbaserte arbeidsmetoder, ved at den har funksjoner som blant annet mengdeuttak.

Hva tilbyr Synchro Pro og hvordan svarer dette til det som kan forventes av en 4D-programvare?

På markedet finnes det flere andre programvarer som kan brukes til 4D BIM. Ut over Synchro Pro er Navisworks, Vico Office, VisiLean og ALICE er blant de tilgjengelige verktøyene (Bjørnstad et al. 2019, s. 46). Disse har forskjellige egenskaper og fokusområder, og derfor bør man kartlegge hva man faktisk behøver, før valg av programvare fattes. I tabell 10 har vi sammenstilt de faktorer som ifølge Eastman et al. (2011, s. 231-232) bør hensyntas ved valg av 4D-programvare, med et utvalg av hva Synchro Pro tilbyr. Ettersom Synchro Pro er vårt benyttede verktøy for 4D BIM, er ikke de andre programvarene vurdert på samme måte.

Tabell 10: Faktorer man ifølge Eastman et al. (2011, s. 231-232) bør ta hensyn til når man velger 4D-programvare, og hva Synchro Pro 2018 tilbyr på bakgrunn av (Synchro 2018) og (?).

Faktorer som bør hensyntas	Hvordan Synchro Pro svarer til dette
Fra hvilke formater man kan importere geometriske modeller.	Kan importere 3D modeller av 58 ulike filtyper; inkludert blant annet DWF, DWG, DGN, SKP, 3DPDF og IFC.
Fra hvilke formater man kan importere fremdriftsplaner.	Kan lages direkte i programvaren eller importeres fra: Synchro Pro, Synchro Schedulerer (.sp), Asta Powerproject, Microsoft Project (.xml), Microsoft Excel, PMA NetPoint, Primavera P6, IFC.
Om man kan importere flere filer, og av ulike formater, til samme prosjekt.	Man kan importere flere 3D-modeller, og av ulike formater, til samme prosjekt.
Om man kan oppdatere 4D-modellen iht. oppdateringer som skjer i 3D-modellene	Endringer i de importerte filene kan synkroniseres til programvaren og man vil dermed kunne beholde koblingene som er gjort.
Om man reorganisere data og endre geometri etter import av modell.	Man kan splitte objekter for å tilpasse de til aktivitetene. Objektene må angis som ressurser for at de skal kunne kobles til aktiviteter. Dette gjøres ved import, og man kan også omorganisere ressurstreet i etterkant.
Om man kan importere eller opprette midlertidige objekter i programvaren.	Begge deler er mulig. Synchro har også et bibliotek med en del maskiner, utstyr og komponenter som kan legges til modellene.
Om man kan simulere kranbevegelser eller andre installasjonssekvenser.	Synchro har en funksjon, 3D Paths, som kan brukes for å vise de planlagte bevegelsene til utstyr eller andre objekter.
Om man kan utføre spesifikke analyser, som kollisjonstester.	Man kan kjøre romlige koordineringstester for å finne konflikter mellom objekter, utstyr og/eller arbeidssoner.
Om brukeren kan generere animasjoner og stillbilder for definerte tidsperioder.	Man kan lagre bilder av 3D vinduet, samt lage animasjoner av hele / deler av planen.
Om brukeren kan automatisk koble bygningskomponenter til aktiviteter.	Funksjonen Auto-Matching gjør at man kan lage regler for automatisk sammenkobling av ressurser og aktiviteter.

Som det fremgår av tabellen, tilbyr Synchro Pro funksjoner som svarer til alle vurderingskriteriene som beskrives av Eastman et al. (2011, s. 231-232). Eastman et al. betegner også Synchro Pro som et kraftig 4D-verktøy med de mest sofistikerte planleggingsevnene av de som ble evaluert i håndboken. I tillegg til å svare godt til de overnevnte vurderingskriteriene, har Synchro Pro også innebygde funksjoner som muliggjør formidling av risiko, buffere og ressursutnyttelse.

5 Resultater

Dette kapitlet inneholder resultatene fra litteraturstudiet, dokumentstudiet og eksperimentene i programvaren. Kapittel 5.1 og 5.2 tar for seg henholdsvis mulighetene og utfordringene som knyttes til implementering og bruk av 4D BIM, se tabell 11 for en oversikt over hvilke funn som utdypes i delkapitlene. I kapittel 5.3 fremlegges data om dagens modelleringskrav og -praksis, i tillegg til resultater fra eksperimenter i programvare. Noen av resultatene tilknyttet dette nevnes først i kapittel 6.3, og dette er gjort for å gi bedre flyt i teksten. Til slutt fremstiller kapittel 5.4 en oversikt over hvordan man kan bruke 4D BIM til riggplanlegging. En rekke funksjoner blir her forklart og fremvist, i tillegg til at det er inkludert noen detaljerte eksempler.

Tabell 11: Muligheter og utfordringer som kan knyttes til 4D BIM

Muligheter ved å bruke 4D BIM	Utfordringer tilknyttet 4D BIM
Mer robuste planer	Konservativ bransje
Bedre rigg- og logistikkplanlegging	Implementeringskostnader
Planlegge for sikrere utførelse	Mangel på kompetanse
Mer effektiv kommunikasjon av planen	Hvordan det skal implementeres i organisasjonen
Bedre forståelse av hva som er planlagt	Tidkrevende å utarbeide 4D-modellene
Enklere å oppnå godkjenning fra interessenter	Stiller krav til oppbygning av 3D-modell og fremdriftsplan
Bedre presentasjon og evaluering av anbud	Mangel på brukervennlige verktøy
Verktøy for prosjektstyring og kontrollering	

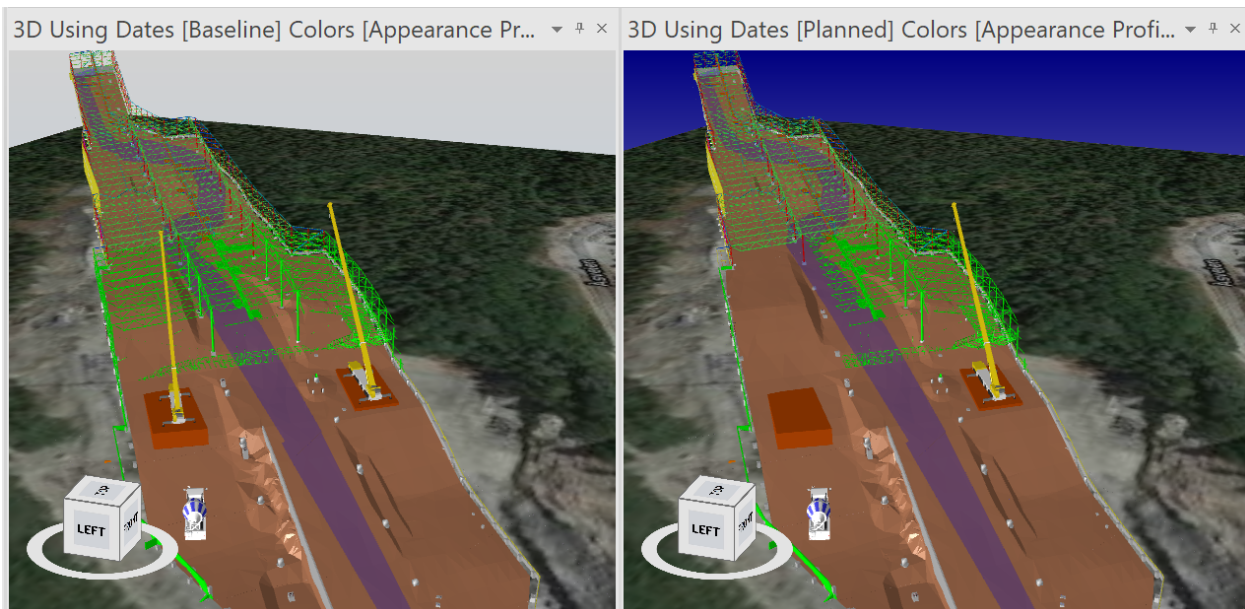
5.1 Hva er mulighetene ved å bruke 4D BIM?

Mulighetene ved å implementere 4D BIM er mange, kan knyttes til alle de ulike kjerneprosessene som inngår i byggeprosessen, og appellerer til en rekke ulike interessentgrupper. Dette delkapitlet presenterer et utvalg av mulighetene og fordelene som 4D BIM gir, sett opp mot alternativet, som er at man *ikke* integrerer fremdriftsplanene med BIM-modellene.

Mer robuste planer

En robust plan anses for å være gjennomførbar, tillitvekkende og med lav risiko for feil. Visualisering av prosjektets fremdrift fra forskjellige fag gir en enorm fordel når man skal evaluere planens gjennomførbarhet (Bystrom 2012). Bruk av 4D BIM i planleggingen kan avsløre potensielle problemer og det gir muligheter for å forbedre planen hva gjelder blant annet rigg, tid/plass-konflikter, bemanning, utstyr og HMS i *forkant* av utførelsen (Eastman et al. 2011, s.18-19). 4D BIM gjør at prosjektdeltakere effektivt kan visualisere, analysere og melde fra om potensielle problemer, for eksempel knyttet til rekkefølger eller sekvenser, før selve byggingen starter (Smith 2014a). Dette gjør at man har gode muligheter for å lage mer robuste planer, i tillegg til at logistikken på riggplassen kan bedres for å øke produktiviteten.

Flere av intervjuobjektene til Bjørnstad et al. (2019) beskrev det at man kan teste ulike planmuligheter som nyttig, og man får vite konsekvensene av endringene med en gang. Dette gir større trygghet til den valgte fremdriftsplanen, da man har gjennomgått den visuelt på forhånd. Musa et al. (2016) redegjør for at 4D BIM gjør at prosjektledere og -planleggere enklere kan identifisere trusler tilknyttet dårlig planlagte sekvenser, at de lettere kan ta avgjørelser, og slik kan 4D-planlegging fungere som verktøy for risikohåndtering.



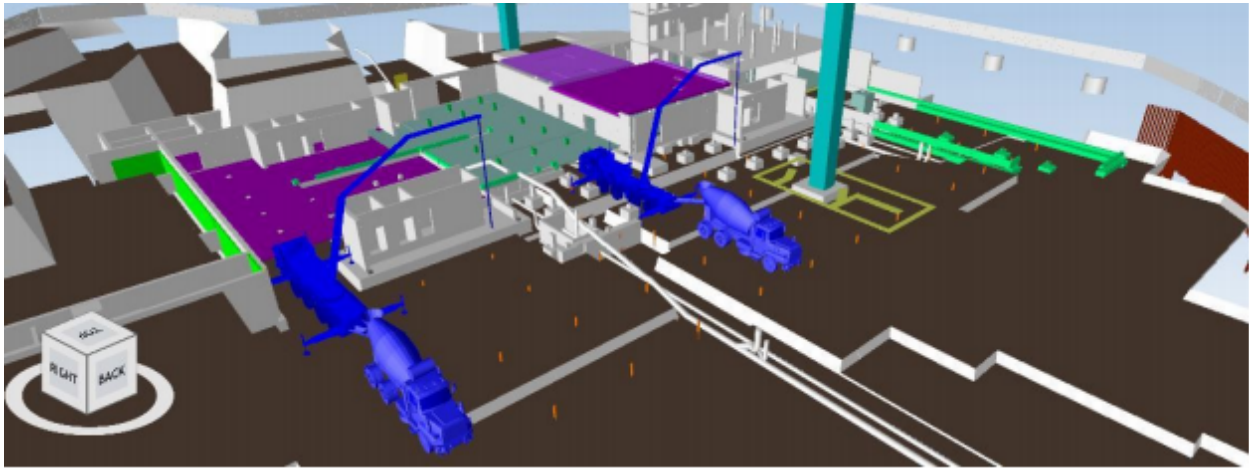
Figur 16: Eksempel på simulering og sammenligning av to ulike planer (sekvensiell versus parallell montasje av stål) i Synchro Pro.

Bedre rigg- og logistikkplanlegging

Rigg- og logistikkplanlegging påvirker byggeplassens forløp med tanke på fremdrift og kostnader, og er essensielt i prosjektledelse og -styring ettersom det har direkte innvirkning på blant annet sikkerhet, maskinbruk, plassering av materialer (Ma et al. 2004). Ifølge Ma et al. (2004) har 4D BIM utmerket seg som bedre enn tradisjonelle planleggingsverktøy når det kommer til slik planlegging. Eastman et al. (2011, s. 19) fremhever mulighetene for å modellere inn midlertidige objekter (som stillaser, byggekraner, maskiner osv.) og lenke disse til aktiviteter slik at de reflekteres i fremdriftsplanen. Ifølge Eastman et al. er dette et område hvor man kan hente store gevinster. Bystrom (2012) peker også på mulighetene 4D gir for å kontrollere at rigg ikke blir i veien for bygget.

Det finnes flere fordeler når det gjelder rigg- og logistikkplanlegging, og Desclaux (2017) viser til blant annet at en 4D-modell gir bedre kontroll på hvilke områder man har tilgang på til enhver tid. Man har mulighet for å visualisere hvordan riggplassen endrer seg gjennom prosjektet, og hvilke konsekvenser ulike handlinger kommer til å få. Man kan visualisere tilkomstmuligheter, lasteområder, maskiner, kranplassering, og mer (Eastman et al. 2011, s.226). Se figur 12 og figur 17 for eksempler på bruk av 4D BIM i riggplanleggingen. Bystrom (2012) skriver at når det foreligger tidsinformasjon på objektnivå, så blir det enklere å optimalisere bruken av arbeidsinnsats og å levere byggevarer «just-in-time».

Kapittel 5.4 studerer mulighetene tilknyttet riggplanlegging i nærmere detalj, og spesifiserer hvilke funksjoner i Synchro Pro som kan benyttes for å realisere de ulike mulighetene. Delkapittelet beskriver også *hvordan* man kan gå frem i programvaren for å bruke funksjonene og benytte seg av disse mulighetene.



Figur 17: Eksempel på visualisering av riggplass med blant annet betong- og pumpebil (Hauken & Frøisland 2019).

Planlegge for sikrere utførelse

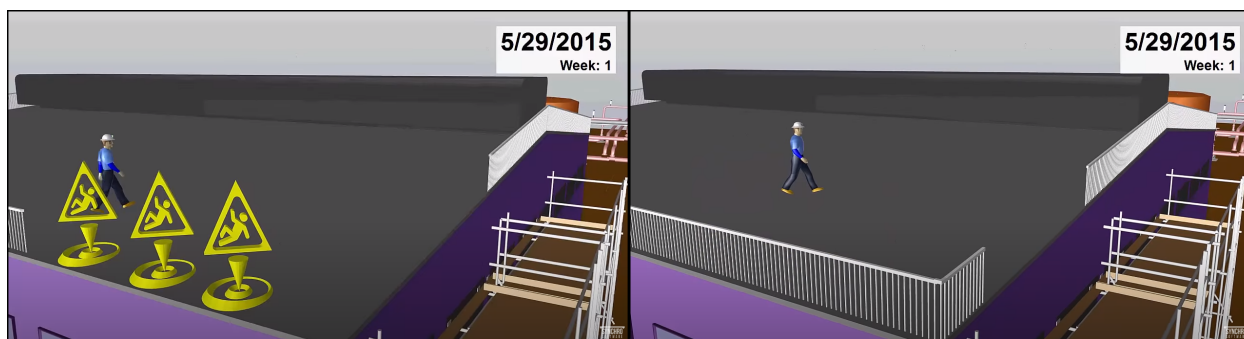
Godt arbeidsmiljøarbeid handler blant annet om å redusere risiko for farer og ulykker (Arbeidstilsynet n.d.). Ifølge Sulankivi et al. (2010) fremmer bruk av 4D-modeller sikkerhetsaspektet i planleggingen. En av fordelene ved å planlegge i 4D er at faremomentene sees i direkte sammenheng med aktivitetene i fremdriftsplanen. Underveis i gjennomføringsfasen vil man alltid ha en oppdatert modell som gjenspeiler byggeplassen slik den ser ut på det aktuelle tidspunktet. Denne kan benyttes for videre detaljplanlegging og kontrollering, samt er 4D-modellen godt egnet for å kommunisere fremtidige risikoer og planlagte sikkerhetstiltak. Sulankivi et al. (2010) så spesifikt på fallsikringstiltak i forbindelse med montasje av prefabrikkerte elementer. De konkluderte med at det ofte ikke utarbeides detaljerte fallsikringsplaner, og at ved å bruke 4D BIM kan man modellere inn fallsikringsobjekter som man tilegner både tid og lokasjon. I figur 18 vises eksempler på ulike objekter som kan plasseres ut i modellen for å markere faremomenter eller restriksjoner. Dette fører til mer nøyaktig planlegging, som videre vil resultere i bedre sikkerhet under gjennomføringen (Sulankivi et al. 2010).



Figur 18: Eksempler på HMS objekter som kan plasseres ut i modellen (Synchro 2015).

Bogen (2018) studerte mulighetene for HMS-planlegging i sin masteroppgave, og i prosjektet ble den opprinnelige graveplanen endret etter en simulering i 4D. Endringene førte til mindre anleggstrafikk (sammenlignet med den opprinnelige planen), samtidig som at trafikken ble flyttet lengre vekk fra det området hvor jernbinderne hadde full produksjon. Dermed ble sannsynligheten for menneske/maskin-konflikter redusert. Bogen nevner også muligheten for å plassere ut HMS-symboler i modellen for å synliggjøre hvor og når sikkerhetstiltak bør iverksettes. Disse symbolene vil være synlige i det samme tidsrommet som en potensiell

risiko er gjeldende. Dette kan for eksempel være utsparinger i hulldekker eller andre faremomenter. Så lenge risikoen er gjeldende, vil også HMS-symbolet være synlig, se figur 19 for et eksempel på dette.



Figur 19: Eksempel på utplassering av HMS objekter som indikerer risiko for fall fra tak. Når risikoen ikke lenger er til stede, fjernes også symbolene (Synchro 2015).

Mer effektiv kommunikasjon av planen

Utarbeidelse av gode og robuste fremdriftsplaner er ikke nødvendigvis tilstrekkelig for å sørge for en god gjennomføring, blant annet er kommunikasjon av planene et viktig aspekt. Ifølge Butkovic et al. (2019) bedrer 4D BIM kommunikasjonen og fører til at man hindrer mange uforutsette konflikter. Dette gjelder særlig i tilfeller der rekkefølgen på montering spiller en stor rolle (Bystrom 2012). 4D BIM gjør at man kan kommunisere aktivitetene visuelt til alle interessenter på en mer effektiv måte enn ved bruk av tradisjonelle Gantt-diagrammer (Eastman et al. 2011, s. 224-225). Oppfatningene i bransjen bekrefter også dette: 96,3% av respondentene i spørreundersøkelsene til Gledson & Greenwood (2016) anså 4D BIM som *bedre* egnet for kommunikasjon av planen sammenlignet med tradisjonell planlegging.

Bedre forståelse for hva som er planlagt

En årsak til at 4D BIM effektiviserer kommunikasjonen, er at det blir lettere for mottakerne å forstå planene som kommuniseres. Tradisjonelle Gantt-diagrammer er intuitive og enkle å forstå så lenge det er snakk om få aktiviteter og avhengigheter (Rolfsen & Merschbrock 2016). Etterhvert som Gantt-diagrammene blir store, kan de inneholde tusenvis av aktiviteter, og dette gjør dem uoversiktlige og vanskelige å bruke. Videre anses skråstreksdiagrammer ofte for å være kaotiske, forvirrende og vanskelige å forstå. Med 4D BIM kobles aktiviteter i planen til objekter i modellen, og på den måten kan man visualisere planen grafisk. Dette gir god forståelse for hvordan bygningsarbeidene er planlagt dag for dag (Eastman et al. 2011, s. 18-19). Rolfsen & Merschbrock (2016) trekker frem 4D BIM som et «kraftig visualiseringsverktøy» sammenlignet med Gantt- og skråstreksdiagrammer.

Den norske byggebransjen består idag av mange mennesker med forskjellig bakgrunn og kultur, og språkbarrierer kan oppstå. Når Todsén (2018) viser til et produktivitetsfall i bygg- og anleggsnæringen, trekkes nettopp språkbarrierer frem som en mulig årsak til dette. Dårlig/utydelig kommunikasjon kan føre til misforståelser og/eller feilproduksjon, som er vesentlige årsaker til sløsing i byggebransjen. Josephson & Björkman (2011, s. 78) konkluderer blant annet med følgende anbefaling for å redusere sløsing, fritt oversatt fra engelsk: «gi klare instruksjoner, som ikke kan bli misforstått». Ettersom 4D BIM bidrar til å øke forståelsen (eventuelt forhindre misforståelser) av planene ved at de kan visualiseres, vil det i så måte også bidra til å redusere sløsing.

Enklere å oppnå godkjenning fra interessenter

Alle større byggeprosjekter i Norge må gjennom en del offentlige godkjenningsprosesser, og dette kan true selve realiseringen av prosjektet. Mange byggeprosjekter møter også mye motstand fra andre interessenter, som kan være forstyrrende for gjennomføringen. En fremstilling med 4D BIM gjør planen mer intuitiv (Rolfesen & Merschbrock 2016). Dette gjør det enklere for alle prosjektinvolverte/-interesserte å se utviklingen i en byggeprosess, og Bjørnstad et al. (2019, s. 73) trekker frem et prosjekt som ble møtt med mye motstand i lokalmiljøet: Her ble 4D-modellen fremvist, og motstanderne forstod at det kun var under perioder av byggetiden det faktisk ville foregå konstruksjonsarbeider utenfor boligene deres. Motstanden avtok umiddelbart, og 4D-modellen bidro til å overbevise interessenter om prosjektet og gjennomføringen. Slik kan bruk av en 4D BIM-modell føre til enklere godkjenning fra interessenter og gi effekter som at prosjekter kan oppnå raskere igangsettelse og mulig tidsbesparelse.

Bedre presentasjon og evaluering av anbud

Anbudsprosessen er viktig for både byggherrer, hoved-, og underentreprenører. Ifølge Bystrom (2012) er tidsinformasjon på objektnivå fordelaktig når man utarbeider kalkyler, da dette kan brukes til innkjøpsplanlegging/optimalisering, samt bidra til at de rette leveransene bestilles og ankommer til rett tid. Ved at man blir mer sikker på sin kalkyle, kan man være villig til å redusere risikopåslaget i det endelige tilbudet. Dermed kan jobben prises lavere, og man kan få større muligheter for å vinne et eventuelt anbud. 4D BIM er også fordelaktig ved forsøk på å overbevise noen om sin gjennomføringsplan (Desclaux 2017). Det gir gode muligheter for utførende parter / tilbydere når de skal presentere sine løsninger, og bruk av 4D BIM kan gi den utførende større påvirkningsmulighet i prosjektet. Bruk av 4D-modeller allerede i anbudsfasen kan føre til enklere innsalg hos byggherre og underentreprenører, og på den måten bedre muligheten til å vinne anbud, i tillegg til å finne de rette underentreprenørene (Bjørnstad et al. 2019, s. 96).

4D BIM som verktøy for prosjektstyring og kontrollering

Det er et stort behov for prosjektoppfølgning og kontroll i byggeprosjekter. Santiago International Airport er et eksempel på et stort prosjekt hvor 4D BIM er benyttet til dette. Prosjektets 4D-modell er sammensatt av mer enn 200 individuelle BIM-modeller (Desclaux 2017), og fremdriften måles og oppdateres i modellen hver måned. I dette prosjektet er det også tilført modellen kostnadsinformasjon (5D). I tillegg til at de benytter 4D (og 5D) til å planlegge, lages det også animasjoner underveis som viser utført arbeid (og påløpte kostnader) sammenlignet med det som var planlagt. Disse animasjonene leveres til byggherren og brukes i oppfølgingen for å holde kontroll over ulike parametere i gjennomføringen.

5.2 Hvilke utfordringer knyttes til 4D BIM?

Det kan følge mange positive effekter av å implementere og bruke 4D BIM. Allikevel viser rapporter som nylig er publisert av ENR⁴ at 4D BIM kun brukes i 35-40% av de største byggefirmaene, og at bruken er begrenset til en liten andel av deres prosjekter (Torres-Calderon et al. 2019). Når det først benyttes, er det oftest i forbindelse med tidligfasene i prosjekter og det er sjelden 4D BIM involveres i et prosjekts gjennomføringsfase. På tross av at 4D BIM kan spores helt tilbake til 1980-tallet (Gledson & Greenwood 2016), ser det ut til at det enda ikke har fått fullt fotfeste i bransjen. Det er ikke én grunn til dette, men en kombinasjon av flere utfordringer som hindrer/bremser implementeringen: Dette delkapittelet tar for seg utfordringer tilknyttet implementering og bruk av 4D BIM.

Konservativ bransje

Byggebransjen blir sett på som konservativ og er nølende til å implementere ny teknologi. Mange opplever motstand mot endringer, og dette er en generell utfordring for digitalisering (Oesterreich & Teuteberg 2016). En av informantene til Bjørnstad et al. (2019, Vedlegg 2, s. 26) forteller at alder også er en vesentlig faktor når det gjelder nye tekniske programvarer: «Terskelen er høy bare for å åpne de vanlige programmene vi bruker i dag på prosjektet. Så skal det fungere, må alle funksjonærer være villig til å være med på den digitale bølgen, men det bedrer seg, absolutt» - Christopher Carlsen, Anleggsleder.

Implementeringskostnader

Implementeringskostnader er en vesentlig barriere for økt grad av digitalisering (Oesterreich & Teuteberg 2016). For å digitalisere en virksomhet, kreves det nemlig at man investerer en del ressurser i blant annet det tekniske utstyret og videre opplæring og utdanning av personell. I mange tilfeller vil det også påløpe en del konsulentutgifter. Fordelene og kostnadsbeparelse man får ved slike investeringer er ofte uklare, og byggefirmaer er derfor nølende.

Mangel på kompetanse

Oesterreich & Teuteberg (2016) skriver at digitalisering øker/endrer kompetansebehovet i bedriften og mener man bør optimalisere prosjektorganisasjonen, og at den må inneholde et utvalg personer med en viss kompetanse. En av anleggslederne som ble intervjuet av Bogen (2018, s. 58), sa at han var positiv til 4D BIM, men mente det lå utfordringer tilknyttet den nødvendige kompetansen som kreves innad i prosjektgruppa.

Butkovic et al. (2019) foretok en spørreundersøkelse i forbindelse med deres publiserte paper, se figur 15. Av de undersøkte 4D BIM-modellene, hadde 70% av dem blitt modellert av BIM teknikere, BIM koordinatører, 4D spesialister eller lignende, mens resterende 30% var utarbeidet av prosjektledere og planleggere. På tross av at fremdriftsplanene var opprettet av planleggerne, ble koblingen av plan og 3D-modell (utarbeidelsen av 4D) altså overlatt til andre. Samtidig mente 68% at utarbeidelsen av 4D BIM-modellene burde være prosjektledernes- eller planleggerens rolle, og *ikke* bli overlatt til spesialister.

⁴Engineering News-Record; et amerikansk ukeblad som gir nyheter, analyse, data og meninger for byggebransjen over hele verden.

Hvordan det skal implementeres i organisasjonen

Det er mange problemstillinger knyttet til hvordan, og i hvilken grad, man skal implementere 4D BIM for å få best mulig nytteverdi. Som beskrevet i kapittel 5.1 kan det brukes av ulike interessenter, med ulike hensikter, i ulike faser av prosjekter og gi ulik nytte. Ifølge Rolfsen & Merschbrock (2016) kan forskere rapportere om at «off-the-shelf» (ferdiglagde) programvarer som er utviklet av IT-teknikere, og som ikke passer direkte inn i organisasjonsstrukturene, ofte blir forkastet. Hvorvidt individene aksepterer den nye teknologien baserer seg også på i hvilken grad de oppfatter at det å bruke teknologien gir vesentlige fortrinn, sammenlignet med dagens løsninger. Oesterreich & Teuteberg (2016) skriver at for å få til god implementering, må man involvere personer på nivåer fra hele organisasjonshierarkiet, og det bør foretas en helhetlig revurdering og mulig omlegging av bedriftens praksis.

Tidkrevende å utarbeide 4D-modellene

Torres-Calderon et al. (2019) peker på at selve koblingsprosessen mellom 3D-modell og fremdriftsplan fremstår som en av hovedårsakene til at mange er skeptiske. Flere oppfatter kostnadene tilknyttet utarbeidelsen av 4D-modellene som *større* enn verdien av å ha dem. Bogen (2018, s. 24 & 67) benyttet en 3D-modell som ikke var laget med hensyn til at den skulle samkjøres med en fremdriftsplan. Bogen opplevde det som tidkrevende å koble sammen 3D-objekter og aktiviteter i programvaren, og påpeker at dette kan skape en del merarbeid i prosjekter med mye endringer.

Stiller krav til oppbygning av 3D-modell og fremdriftsplan

Det gjelder å finne en god balansegang mellom modellens kompleksitet/nøyaktighet og ressursene man putter inn. Detaljeringsgraden bør være på et slikt nivå at de tilrettelegger for effektive avgjørelser og god gjennomføring (Butkovic et al. 2019). For å bidra til en god 4D-modell, må de som lager 3D-modellen ha en tilnærming til den geometriske detaljeringsgraden som støtter detaljeringsgraden i fremdriftsplanen. For eksempel kan det organiseres i geometriske komponenter som svarer til arbeidspakkene i fremdriftsplanen. Videre må detaljeringsgraden evalueres og oppdateres utover i prosjektet for at man fortsetter å bruke 4D BIM, og for at det skal fortsette å være nyttig.

For at overgangen fra 3D- til 4D-modell skal skje med minst mulig merarbeid, er det også viktig at prosjekteringsteamet bruker samme programvare, eller programvarer som er kompatible med hverandre, for at informasjon ikke skal gå tapt ved utveksling (Eastman et al. 2011, s. 417). Slike problemer kan begrenses ved at alle benytter for eksempel IFC som standard ved utveksling av data.

Mangel på brukervennlige verktøy

Samtlige av intervjuobjektene til Bjørnstad et al. (2019, Vedlegg 2, s. 1-37) nevnte mangel på brukervennlighet som et hinder for implementeringen av 4D-verktøy. Blant annet uttalte Dr. Bhargav Dave, CEO i VisiLean, at «En av utfordringene med slik teknisk avansert programvare er at det er av og for eksperter. Når vi ser på hvem som skal bruke programmet ute i prosjektene er det funksjonærer og fagarbeidere som ikke har tid til å bli eksperter på dette området». Johan B. Selmar, digitaliserings- og IT-ansvarlig i Veidekke, fortalte videre at «Synchro har for mange funksjoner og knapper som gjør at programmet fremstår som mer avansert enn det egentlig trenger å være».

5.3 Dagens modelleringskrav og -praksis

Dette delkapittelet er delt inn i to deler: Kapittel 5.3.1 beskriver dagens modelleringskrav og -anbefalinger, og kapittel 5.3.2 vurderer hvorvidt disse følges. Informasjon fra Statsbygg, Standard Norge og EBA utgjør datagrunnlaget tilknyttet modelleringskrav og -anbefalinger. For å vurdere hvorvidt dagens modelleringspraksis samsvarer med kravene, er reelle BIM-modeller fra bransjen undersøkt. Noen typiske eksempler på avdekkede «feil» legges frem.

5.3.1 Dagens modelleringskrav og -anbefalinger

For å være istand til å vurdere om dagens modellering bør endres for å få til god bruk av 4D BIM, er det relevant å undersøke dagens modelleringskrav og -anbefalinger. Aktører i byggebransjen opererer på mange forskjellige måter, med varierende krav og mot ulike mål. Statsbygg er statens sentrale rådgiver i bygge- og eiendomssaker, byggherre, eiendomsforvalter og eiendomsutvikler (Regjeringen 2007). De spiller en viktig rolle i forbindelse med digitaliseringen av byggebransjen, og ønsker å gå foran som en rollemodell og pådriver for innovasjon. (Dybesland n.d.). Ettersom Statsbygg har en så viktig rolle, i tillegg til at vi vurderer dem som uavhengige, anser vi deres BIM-krav som relevante å følge. Statsbygg er for tiden i en prosess som skal resultere i utgivelsen av SIMBA 2.0, en oppdatering av tidligere utgitte BIM-krav (Statsbygg 2019a). SIMBA 2.0 er foreløpig et «levende utkast». Likevel er mye av informasjonen videre i dette kapittelet hentet derfra: Utkastet er utarbeidet etter samarbeid mellom flere bransjeaktører og skal gjenspeile dagens beste praksis. Derfor er det, på tross av at det er et utkast, relevant å legge til grunn når dagens krav og anbefalinger kartlegges. Ved å benytte dette, bidrar denne oppgaven samtidig til å vurdere det fra et 4D-perspektiv før det ferdigstilles og, etter planen, utgis 01.01.2021 (Statsbygg 2019a).

I veiledningen til kravene står det:

«Formålet med SIMBA 2.0 er å sikre at BIM-leveranser til Statsbygg gjøres på en enhetlig måte som tillater mest mulig effektiv utnyttelse av modellene i prosjektets faser, inkludert forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling. For å oppnå dette stiller Statsbygg krav til oppbygning og struktur av BIM-leveranser. Det er med hensikt lagt til rette for at kravene som stilles i SIMBA 2.0 kan tilpasses det enkelte prosjekt» (Statsbygg 2019b, s. 3).

Ifølge Statsbygg (2019b, s. 10-11) har de som mål at «utveksling av krav, modeller og tilbakemeldinger skal, så langt praktisk mulig, gjøres med åpne standarder». Byggebransjen benytter seg hovedsaklig av åpne standarder som administreres av buildingSMART i forbindelse med BIM, og en av de aktuelle er IFC.

Navngiving av objekter

For at objekter skal kunne brukes til blant annet kalkyler, i modeller, i beskrivelser og identifiseres i objektbiblioteket, stilles det krav til logisk og konsistent navngiving (Statsbygg 2019b, s. 24). Beskrivelsen skal være kortfattet, og den skal gi informasjon som kan påvirke kostnad, bestilling og/eller bygging. Man kan bruke flere ulike standarder for dette, blant annet NS 8351 Byggetegninger, og i Statsbyggs prosjekter er det opp til hvert enkelt prosjekt å avgjøre hvilke standarder som brukes.

Objektklassifikasjon

Statsbygg stiller også krav til bruk av objektklasser for at både andre programvarer og prosjektdeltakere skal forstå hva objektet representerer (Statsbygg 2019b, s. 23). IFC har objektklasser for de fleste typer bygningsdeler og tekniske komponenter som inngår i byggverk; samt for rom, soner, systemer og andre grupperinger. Riktig bruk av objekttyper er viktig for å muliggjøre blant annet mengdeuttak, sortering, simuleringer og valideringer i modellen. Statsbygg anbefaler derfor at man oppretter eksportrutiner som sørger for at hvert objekt havner i rett objektklasse. Med IFC kan de fleste objekter plasseres i klasser som beskriver dem godt, i tillegg til at man kan tilføre informasjon om rom, soner, etasjer, og videre. Eksempler på objektklassifikasjon som brukes er:

- Vegger - IfcWall
- Søyler - IfcColumn
- Bjelker - IfcBeam
- Dekker - IfcSlab
- Trapper - IfcStair

De forskjellige klassene i IFC-skjemaet har presise definisjoner, og buildingSMART har en oversikt over dem på sine nettsider (buildingSMART 2020). Det er mulig å tilegne objekter presise definisjoner, men for å gjøre dette er det ofte nødvendig med ytterligere beskrivelser enn kun én objektklasse. Under vises et eksempel på dette, der det ikke nødvendigvis holder å kun eksportere et objekt som IfcSlab, ettersom det finnes forskjellige typer dekkeobjekter innen denne klassen (Statsbygg 2019a):

- Gulv på grunn = BASESLAB
- Dekker mellom etasjer = FLOOR
- Topp- eller takdekker = ROOF

BASESLAB, FLOOR og ROOF kalles *predefined types*, og disse kan brukes for å skille mellom ulike dekkeobjekter innen objektklassen IfcSlab. NS 8360 BIM-objekter angir hvordan man skal merke objekter tydelig, ved å kombinere IFC-klasser og navn fra NS 8351 Byggetegninger (SN 2015b, s. 26-29).

Det finnes også en objektklasse ved navn «IfcBuildingElementProxy». Dette er IFCs «diverse»-klasse, og skal i utgangspunktet kun brukes når det ikke finnes noen andre objektklasser som er egnet for det aktuelle objektet (Statsbygg 2019b, s. 27). For å angi hva slike objekter er, skal de gis et beskrivende navn, og eksporteres til IFC som «Description» (i IfcRoot). For eksempel kan dette være et antenneobjekt som eksporteres med beskrivelsen «Antennemast». Hvis dette blir gjort, skal man merke alle objekter av samme type på tilsvarende måte i prosjektet.

Lokasjoner

I et webinar avholdt av NTI AS Norge, fastslo instruktøren at hvert objekt i modellen bør ha informasjon om dets lokasjon (Kyrkjebø 2017). Det kan være informasjon om etasje, sone, byggetrinn, eller lignende. Kyrkjebø (2017) sier at denne typen merking er lite krevende for de prosjekterende, og hevder det vil forenkle arbeidsprosesser i 4D-programvaren Synchro Pro. Statsbygg omtaler dette i SIMBA 2.0, som stiller krav til tydelig nummerering av etasjer, og «IfcBuildingStorey» skal benyttes for merking av etasjer (Statsbygg 2019b, s. 24). Man kan tillegge etasjeinformasjon med enten «.name» eller «.Longname»-attributtene.

Under vises et eksempel på bruk av disse (Statsbygg 2019b, s. 24):

1. IfcBuildingStorey.name = Andre etasje
2. IfcBuildingStorey.Longname = 02 PLAN 2. ETG

EBA publiserte i 2018 en BIM-manual som er utarbeidet av BIM-eksperter fra de største entreprenørene i Norge, og håper denne kan bli en bransjenorm som er tilgjengelig for alle (Hjerpaasen et al. 2018). I manualen fremheves korrekt etasjenummerering for *alle objekter* som et absolutt BIM-krav (Hjerpaasen et al. 2018, s. 14).

Prinsipper for god modelleringspraksis

Statsbygg har listet opp en rekke generelle punkter som beskriver hva de mener er god modelleringspraksis (Statsbygg 2019b, s. 26-28). De som er mest relevante for denne oppgaven er:

- Objekttyper skal eksporteres til riktig IFC-objektklasse, basert på hva de funksjonelt sett *er*. Objekter skal spesifiseres med *typer* der det er nødvendig.
- Uansett hvilket verktøy som brukes for å modellere et objekt, skal det foreligge rutiner for å sørge for at det eksporteres til riktig IFC-objektklasse. Brukes det for eksempel dekkeverktøy for å modellere en betongtrapp, skal objektklassen settes til «trapp» og IFC-eksport settes til IfcStair.
- Objekter skal være splittet for hver etasje. Dette gjelder også for objekter som skal plassbygges i størrelser som strekker seg over flere etasjer. Et eksempel på dette, er en glideforskalt heissjakt. Denne skal splittes opp, selv om den fysiske sjakten går over flere etasjer. I henhold til NS 8360 BIM-objekter, skal også elementer som har ulike egenskaper, for eksempel innendørs eller utendørs, være delt opp i forskjellige objekter (SN 2015b, s. 8). Dette kan for eksempel være overgangen mellom et dekke og en balkong; her skal balkongen være et eget objekt i BIM-modellen (SN 2017, s. 7). Prefabrikkerte objekter som strekker seg over flere etasjer, skal derimot modelleres som ett objekt. Objektet skal tildeles den nederste etasjen som det er plassert i, med mindre noe annet er avtalt.
- BIM-objekter skal ha representativ geometri for de fysiske produktene de representerer. Nivå på geometri (LoG) kan tilpasses formålet i de ulike fasene. Objekter skal som *minimum* ha faktisk ytre geometri (høyde, bredde, lengde), for å sikre tverrfaglig koordinering. Objekter skal likevel ikke være så detaljerte at deres datastørrelsen øker modellens datastørrelse i stor grad.
- Romobjekter (IfcSpace) kan modelleres enten fra overkant dekke og til underkant av overliggende dekke, eller fra overkant dekke til underkant nedfôret himling. Ved bruk av den siste metoden, vil objekter over himling (feks en branddetektor) ligge utenfor noen romobjekter, med mindre man lager egne romobjekter for disse.

EBA's BIM-manual legger også frem en rekke modelleringsprinsipper, og noen steder viser den også til Statsbyggs BIM-krav. Blant annet sier Hjerpaasen et al. (2018, s. 14) at objektbeskrivelser med parametre bør gjøres etter SIMBA, eller eventuelt som beskrevet i NS 8360 BIM-Objekter. Manualen påpeker også viktigheten av konsekvent objektnavngiving. Videre presenterer manualen blant annet følgende prinsipper for god modelleringspraksis:

1. Romobjekter: Alle rom, trappesjakter, heissjakter og føringsjakter skal ha et romobjekt med et unikt romnummer (Hjerpaasen et al. 2018, s. 15). Om det ikke er definert noe i romskjema, skal det num-

mereres fornuftig slik at rommet kan identifiseres. For eksempel kan en leilighet merkes B101-001 (der leiligheten befinner seg i bygg B, første etasje, leilighet 01 – løpenummer 001).

2. Materialer: Alle elementer i modellen skal være definert med riktige materialtyper. For objekter som inneholder flere sjikt, skal disse beskrives med tykkelse og materialtype.
3. Mengder: Modellene skal gi riktige mengder innenfor avtalt detaljeringsgrad (Hjerpaasen et al. 2018, s. 16). En felles plan for egenskaper og mengdeoppsett bør avklares tidlig i prosjektet, for å unngå komplikasjoner med mengdeuttak. Dette skal resultere i at egenskapene har lik struktur, uavhengig av fag og programvare.

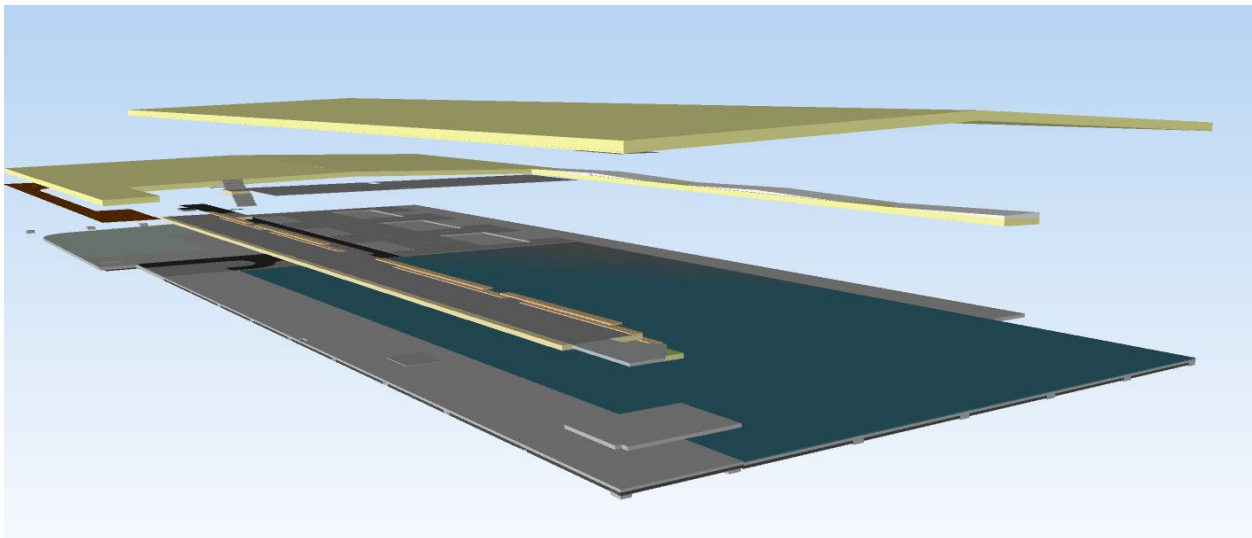
5.3.2 Dagens modelleringspraksis

Dette delkapittelet går nærmere inn på noen typiske avvik som forekommer i løpet av utarbeidelsen av BIM-modeller. Det fremvises typiske feil som er avdekket etter en granskning av BIM-modeller fra bransjen, samt etter litteratursøk. EBA sine forslag til hvordan slike feil kan unngås, blir også presentert.

Det slurves ofte i modelleringen, og Statsbygg nevner et vanlig problem som oppstår når objekter skal eksporteres fra CAD-programmer:

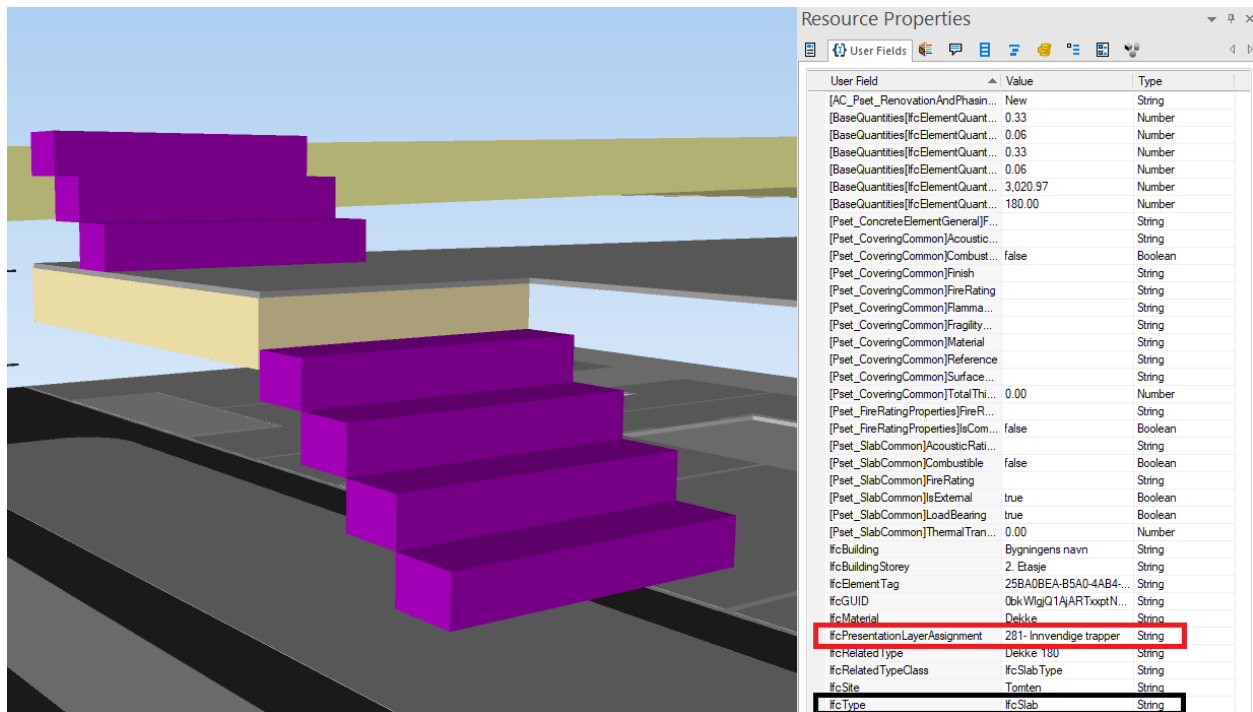
«Det er vanlig å benytte dekkeverktøy i CAD-systemer for å modellere betongtrapper. En betongtrapp vil dermed framstå som et sett med dekkeobjekter lagt oppå hverandre. Siden funksjonen er en trapp, må eksportoppsettet til IFC sørge for at betongtrappen likevel blir en IfcStair, og ikke et sett med IfcSlab» (Statsbygg 2019b, s. 23).

Vi undersøkte hvorvidt dette også var tilfelle i noen av modellene som vi hadde tilgang til. Vi lagde et 3D-filter i Synchro Pro som viste alle objektene som hadde blitt eksportert som «IfcSlab» (dekkeobjekter), resultatet vises i figur 20.



Figur 20: Objekter i en reell BIM-modell som er merket som IfcSlab.

Figuren viser flere objekter som i utgangspunktet ikke skulle tilhørt objektklassen IfcSlab. Figur 21 viser et nærmere bilde av figur 20, og illustrerer det eksakte problemet som Statsbygg beskrev.



Figur 21: En betongtrapp som er merket med ifcSlab, en typisk «feil» ifølge Statsbygg (2019b, s. 23).

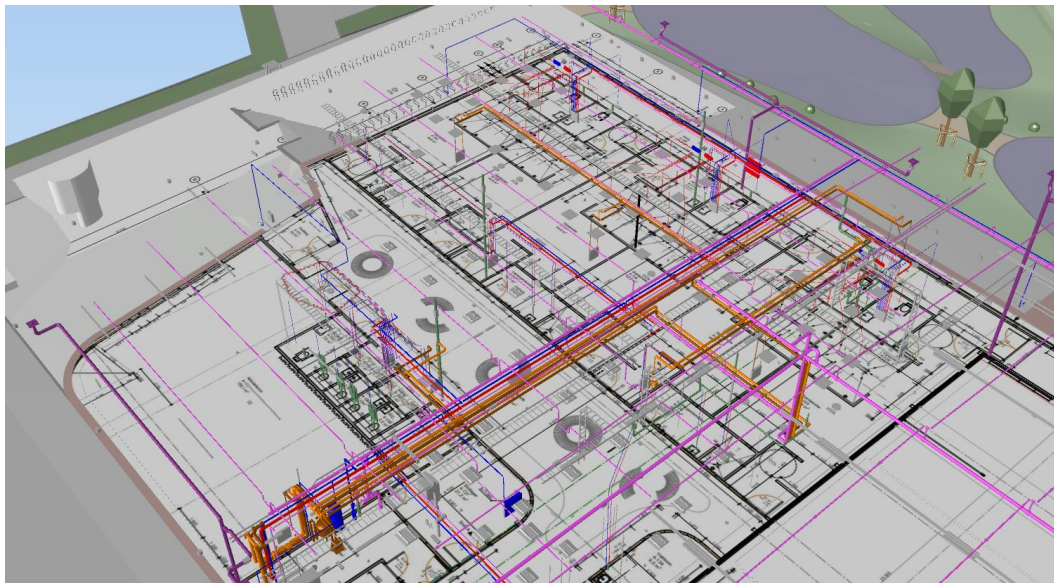
I tilfellet som vises i figur 21 har den modellerende laget trappen ved å stable dekkeobjekter oppå hverandre, fremfor å benytte et trappeverktøy. Dette medfører at objektet blir eksportert som typen IfcSlab, i stedet for IfcStair (se den svarte boksen nede til høyre i figuren). Som følge av dette, dukker trappen opp når man filtrerer ut dekkeobjektene i prosjektet. Trappen er dog merket med «281 - Innvendige trapper» (markert med rødt i figuren), som er i henhold til kodene i NS 8351 Byggetegninger. Dette betyr at om man filtrerer etter *denne* koden, så vil trappen dukke opp.

Etter videre undersøkelse av objektklassifiseringen for innvendige trapper i denne modellen, viste det seg at modelleringen har vært svært inkonsekvent. På tross av at alle trappene er modellert av arkitekten, så er trappeobjektene merket på flere forskjellige måter og har ulike objektbeskrivelser. Punktlisten under viser de forskjellige kombinasjonene av objektmerking for innvendige trapper i dette prosjektet:

- IfcStair + 281- Innvendige trapper
- IfcSlab + 281- Innvendige trapper
- IfcSlab, og heller ikke inkludert 281- Innvendige trapper (en av disse trappene var også merket som «ikke-bærende innervegger»)

Den korrekte objektklassifikasjonen i dette tilfellet er «IfcStair + 281- Innvendige trapper», i henhold til SN (2015b, s. 29). Ettersom det er modellert inkonsekvent, vil det kunne oppstå utfordringer tilknyttet lokalisering av objektene når de skal kobles til deres respektive aktiviteter i 4D-programvaren. Dette kan føre til feil eller ufullstendige sammenkoblinger mellom objekter og aktiviteter, og arbeidet tilknyttet sammenkoblingen blir mer ressurskrevende enn nødvendig. Samtidig setter slike avvik fra god modelleringspraksis begrensninger for bruk av automatiske arbeidsmetoder, som ifølge Torres-Calderon et al. (2019) muliggjør en enkel og rask sammenstilling av 4D BIM-modeller.

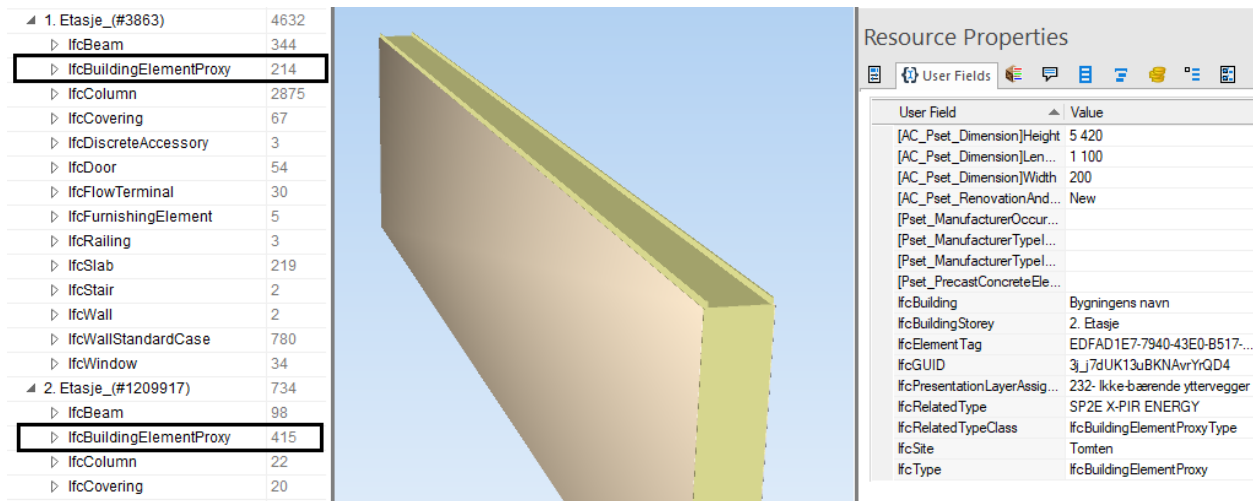
Dårlig navngivning og klassifisering av objekter er et spesielt stort problem for mindre og tallrike objekter. Ufullstendig merking av tekniske installasjoner, som for eksempel rør og elektronikk, fører til store problemer når man skal opprette en 4D BIM-modell. I modellene kan dette være snakk om et stort antall komponenter. Hvis ikke navngivingen eller objektklassifiseringen er strukturert, så vil det være både utfordrende og tidkrevende å koble objektene til deres tiltenkte aktiviteter. I figur 22 vises objekter for el-installasjoner og rør på et prosjekt.



Figur 22: El-installasjoner og rør på et prosjekt

Her er det en rekke objekter som er dårlig merket. De fleste har kun et generisk navn, og den eneste informasjonen om objektene er hvilken etasje de ligger i. Om dette skal være grunnlaget til en 4D-modell, vil personen som skal koble objektene til sin respektive aktiviteter støte på problemer. På grunn av manglende objektbeskrivelser, er det ikke mulig å gjøre dette automatisk. Hvert objekt må derfor kobles manuelt til sin aktivitet, og dette er særdeles tidkrevende.

I kapittel 5.3.1 ble diverse-klassen for objekter, `IfcBuildingElementProxy`, beskrevet. Denne objektklassen har blitt hyppig brukt i de undersøkte BIM-modellene, også i tilfeller der det finnes definerte klasser å plassere det gitte objektet i. Problemet som da oppstår, er at det blir vanskelig å lage automatiske koblinger mellom objekter og aktiviteter, i tillegg til å benytte andre funksjoner, som 3D-filtre. For det aktuelle tilfellet i figur 23 har 415 av 734 objekter i andre etasje blitt eksportert som `IfcBuildingElementProxy`. Objektet på figuren har en slik typedefinisjon, er merket som en ikke-bærende yttervegg, har navnet «Sanitær-(1353478)», og det er ingen materialinformasjon. På bakgrunn av dette kan det oppleves som uklart hva dette objektet faktisk representerer, og god modelleringspraksis anses ikke for å være fulgt.



Figur 23: Eksempel på hyppig bruk av IfcBuildingElementProxy, og dårlig modelleringspraksis.

Det forekommer også inkonsekvent merking av objekter fra de forskjellige fagene innen samme prosjekter. Dette må unngås, ettersom det blant annet skaper forvirring og uklarhet. I de undersøkte modellene har det blitt avdekket en rekke generiske avvik, og dette kapittelet har kun fremhevet et utvalg av disse. Når dagens modelleringskrav ikke følges, får det videre konsekvenser for kvaliteten på utarbeidelsen av en eventuell 4D-modell. Derfor er det aktuelt å undersøke hva som skal til for at dagens modelleringspraksis skal tilfredsstillende kravene og anbefalingene som stilles.

Hvordan unngå de vanlige feilene?

For å sørge for at modelleringskravene blir fulgt i prosjekter, er det viktig med tidlig involvering og kontraering av modellerende rådgivere Hjerpaasen et al. (2018, s.6). Når aktørene er kontrahert, bør et oppstartsmøte avholdes *før* oppstart av modellering. Agenda og prinsipper for et slikt møte kan for eksempel være:

- Gjennomgang av BIM-manualen
- Definere modelleringsprinsipper og detaljeringsgrad
- Tydelige avtaler må dokumenteres
- Tidlig sammenstilling av fagmodeller
- Definere prosjektets struktur, rammer og modellansvar

Avklaringer om *hvem* som har ansvar for *hva* kan skape uenigheter i et byggeprosjekt. Derfor er det viktig at grensesnitt og ansvarsområder diskuteres og fordeles tidlig, for eksempel i et oppstartsmøte. EBA kommer med følgende eksempel på hvordan ansvar kan fordeles, se tabell 12:

Tabell 12: Eksempel på ansvarsfordeling av modellering av ulike bygningsdeler (Hjerpaasen et al. 2018, s. 15)

ARK	RIB	RIV	RIE	LARK
Inner- og yttervegger (YV og IV)	Bærende vegger (YV og IV)	Kanaler (K)	Kabelstiger (KS)	Terreng (T)
Yttertak (YT)	Peler (P)	Rør (R)	Kabelkanaler (KK)	Planter (PL)
Himling (H)	Dekker (DE)	Sentraler (SE)	Armaturer (A)	Benker(B)
Bjelkelag inkl. gulv (BL)	Fundamenter (F)	Radiatorer (R)	Lamper (L)	Utstyr(UT)
Rom og Arealer (R)	Bunnplate (DE)	Ventiler (VE)	Nøddlys (NL)	Veg (VG)
Dører (D)	Søyler (S)	Sanitærutstyr (SU)	El-skap (ES)	
Vinduer (V)	Bjelker (B)	Lydfeller (LF)	El-punkt (EP)	
Systemvegg (SV)	Stag/vaiere (ST)	Bunnledninger (BL)	Behov for utsparing (BU)	
Trapper (TR)	Takstoler (B)	Aggregat (AG)		
Rekkverk (R)	Utsparing (U)	Sluk (SL)		
Fast inventar (FI)	Armering (AM)	Armaturo (AR)		
Skjørt (SK)	Påstøp (G)			
Gulvbehandling (G)	Sekundærstål (SS)			
Støttemurer (V)				

5.4 Hvordan kan Synchro Pro brukes i riggplanlegging?

I løpet av litteraturstudie ble det avdekket at 4D BIM har et stort potensial for å forbedre ulike forhold tilknyttet riggplanlegging. Dette var noe vi ønsket å utforske ytterligere, og dette delkapittelet presenterer hvordan man kan bruke 4D BIM til riggplanlegging, ved bruk av programvaren Synchro Pro. Vi har undersøkt hvilke spesifikke funksjoner i programvaren som egner seg til riggplanlegging, samt beskrevet hvordan man kan benytte seg av disse. Utvalgte funksjoner og fremgangsmåter blir presentert, og for fullstendige steg-for-steg veiledninger, henvises det til vedlegg.

En riggplan er en plan som viser hvor på byggeplassen/riggområdet man finner blant annet adkomst, kjøreveier, lagerplasser, p-plasser, plassering av brakker, arbeidsstasjoner, verksteder, kraner, inngjerding, porter, provisorisk ledningsnett, provisorisk strøm, førstehjelpsutstyr, brannsløkningsutstyr, og eventuelle plasser for masse-og avfallsdeponi (RIF 2002, s. 5). Rammene omkring rigg, drift og nedrigging er ofte gitt i prosjektdokumentene i form av en generell del med tilbuds-/kontraksbestemmelser, samt angivelse av felles forhold på byggeplassen og en mengdebeskrivelse (RIF 2002, s. 22).

Senere beskriver dette delkapittelet hvordan Synchro Pro kan brukes som et verktøy i slik planlegging, med fokus på et utvalg av funksjoner som programvaren tilbyr. Dette kapittelet presenter fremgangsmåter for følgende muligheter:

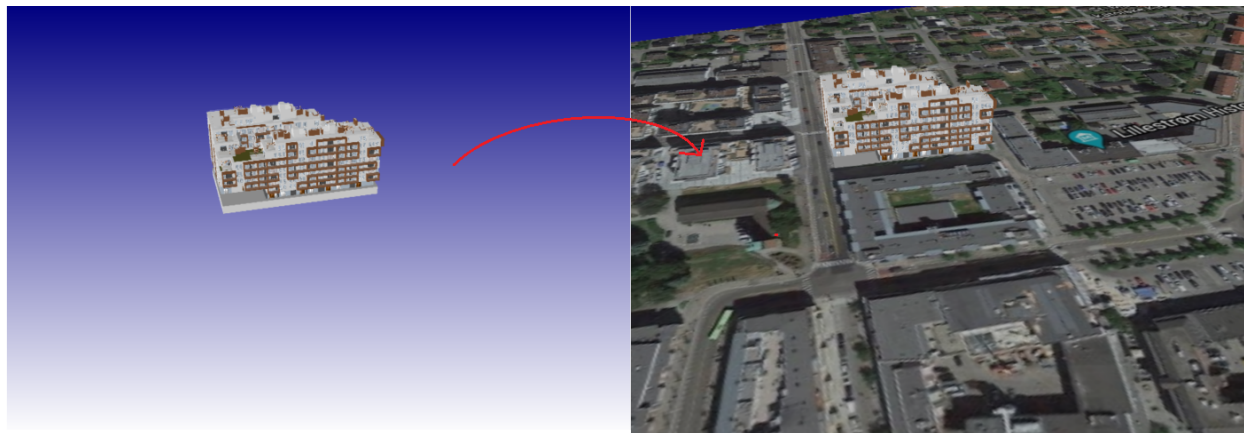
1. Importere et kartbilde og plassere kartet i henhold til modellen
2. Importere og plassere midlertidige objekter
3. Modellere enkle objekter direkte i programvaren
4. Tilegne bevegelser til maskiner og utstyr
5. Vurdere alternative gjennomføringer

Når man har utført slike funksjoner, og opprettet 4D-modeller, fører det med seg en rekke muligheter for videre bruk av dem. Blant annet kan planen tas frem i møter for videre planlegging. I Synchro Pro kan man for eksempel benytte funksjonen Layouts til slik bruk: Denne funksjonen gjør at man kan lage tilpassede oppsett for hva som skal vises i 3D-vinduet. Oppsettene kan blant annet sortere ut hvilken informasjon som skal vises, ved bruk av 3D-filtre eller aktivitetsfiltre, i tillegg til å definere kameraposisjoner og vinkler ved gitte situasjoner. Før et fremdriftsmøte tilknyttet innvendige arbeider i øverste etasje, kan man for eksempel opprette et oppsett som har transparente yttervegger, et skjæreplan som er parallelt og på høyde med himlingen i den aktuelle etasjen, en tilpasset kameravisning (for eksempel rett ovenfra), og eventuelt et aktivitetsfilter for den/de faggruppene som skal delta i møtet. Ved å aktivere dette oppsettet når man spiller av fremdriftssimuleringen, får man en simulering som tydeliggjør de arbeidene og områdene som skal planlegges i møtet. Det samme oppsettet kan enkelt tilpasses til bruk i de andre etasjene ved å justere høyden til skjæreplanet. På samme måte kan man, når man har utarbeidet en riggplan i Synchro, opprette oppsett som er tilpasset for å gi 2D/3D bilder av riggplanen. Ved å aktivere dette oppsettet vil man ha et oppsett som generer 2D/3D fremstillinger av riggplanen til ethvert tidpunkt i prosjektet.

5.4.1 Importere et kartbilde og plassere kartet i henhold til modellen

Det å plassere bygget på et kart gjør fremvisningen mer virkelighetsnær og gir mulighet for å visualisere omliggende infrastruktur, adkomstveier, etc. Hvis man allerede har en 3D modell av området rundt, kan denne importeres. Hvis ikke, kan man laste ned 3D-modeller fra ulike nettsteder, for eksempel <https://3dwarehouse.sketchup.com>.

Hvis man ikke har en modell av området rundt, kan man plassere et todimensjonalt kartbilde som underlag til prosjektet. I Synchro Pro kan funksjonen Textured Plane brukes for å utføre dette. Selve metoden er generell og kan brukes for å importere og plassere alle todimensjonale bilder. Resultatet vises i figur 24, og den overordnede fremgangsmåten beskrives under. For fullstendig fremgangsmåte, se vedlegg kapittel 4.8.



Figur 24: Prosjekt før og etter importering av kart som grunnlag.

Fremgangsmåte i Synchro Pro:

1. Opprett et 2D-bilde av området

Hvis man allerede har et bilde av området, kan dette brukes. Hvis ikke kan man gå til nettsteder som Google Maps, Goolge Earth etc. for å skaffe kartgrunnlag. Lagre et skjermbilde av området som skal importeres til Synchro Pro.

2. Lag et Textured Plane i Synchro og importer bildet

Opprett et Textured Plane (strukturert plan) i Synchro. Dette planet kan gjerne lages noe større enn byggets fotavtrykk, slik at hele bygget vil være innenfor planet. Dette planet danner nemlig utgangspunktet for størrelsen på kartet/bildet vi skal importere. Deretter importeres og navngis kartbildet i Texture Image Selection før man får spørsmål om hvorvidt det skal opprettes som ressurs. Her passer det å opprette det som en ny lokasjonsressurs.

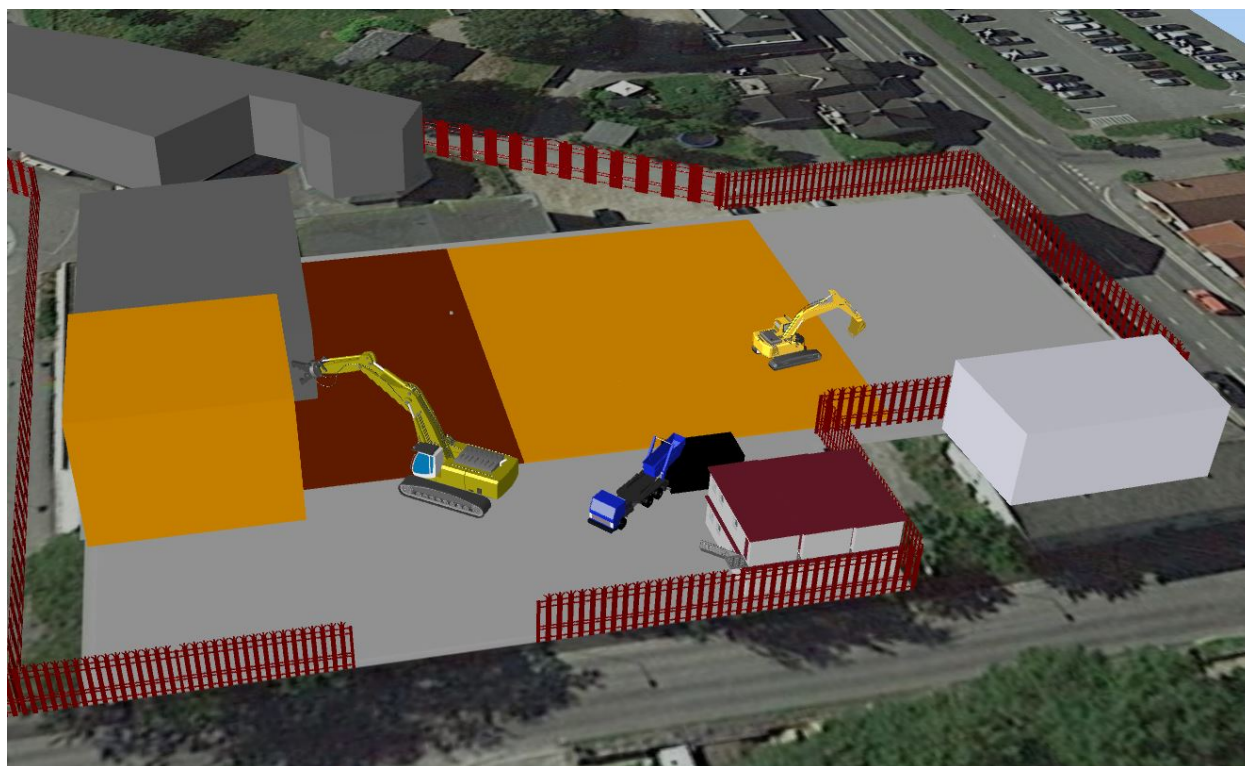
3. Justere bildets plassering og størrelse

Nå er bildet importert til Synchro, men det ligger sannsynligvis på feil sted og er ikke i skala med bygget. Tilpasning av dette gjøres ved hjelp av manipulatoren i Synchro, eller man kan manuelt taste inn ønskede verdier under 3D egenskapene til ressursen (bildet).

5.4.2 Importere og plassere midlertidige objekter

Innen riggplanlegging er det en rekke objekter man kan ta hensyn til, og import og plassering av disse er relevant. På internett finnes det en rekke 3D-modeller av objekter som kan være av interesse når man planlegger riggen (maskiner, utstyr, etc.), men på internett er det ingen krav til hvilke filformater som publiseres. Omfattende byggeprosjekter har ofte et flertall leverandører og disse kan benytte seg av ulike modelleringsprogrammer. Synchro har også et eget utstyrsbibliotek med en del modeller (.dwf format) som er tilgjengelig for nedlastning (finnes i programvaren via Equipment library). Summen av dette kan være at man har 3D-modeller av en rekke ulike formater som man ønsker å ta inn i 4D-programvaren, og dette stiller krav til importmuligheter. Synchro Pro svarer godt til dette ettersom man kan importere geometriske modeller av 58 ulike filtyper, inkludert blant annet DWF, DWG, DGN, SKP, 3DPDF og IFC. Dette gjør at man kan være relativt fleksibel til hvilke krav man stiller til leverandører eller når man søker etter modeller.

I figur 25 vises et stillbilde fra et prosjekt hvor det foregår rivningsarbeider. Her har vi modellert eksisterende bygninger direkte i programvaren, mer om dette i kapittel 5.4.3. Det er også importert maskiner som viser hvor det foregår arbeider til enhver tid. Det foregår rivningsarbeid på bygget som er gul-oransje, og dette er koblet til en gravemaskin. Grunnen som er gul-oransje viser den andre gravemaskinen, som foretar utgraving av masser, sitt arbeidsområde. Ved denne planen, ser man at plasseringen av containeren er slik at begge maskinene har tilgang uten at de kommer i konflikt, samtidig som containeren kan tømmes av en lastebil uten at noen blir hindret. Det er også importert en modell av en brakkerigg, samt gjerde, og prosjektet er plassert på et todimensjonalt kart. Dette er et ganske enkelt eksempel, som krever lite å utarbeide, men gir en god illustrasjon over byggeplassen. Stillbildet gir en rask forståelse av hvordan byggeplassen ser ut på dette tidspunktet, og stillbildet kan fungere godt som et utgangspunkt for en riggplan.



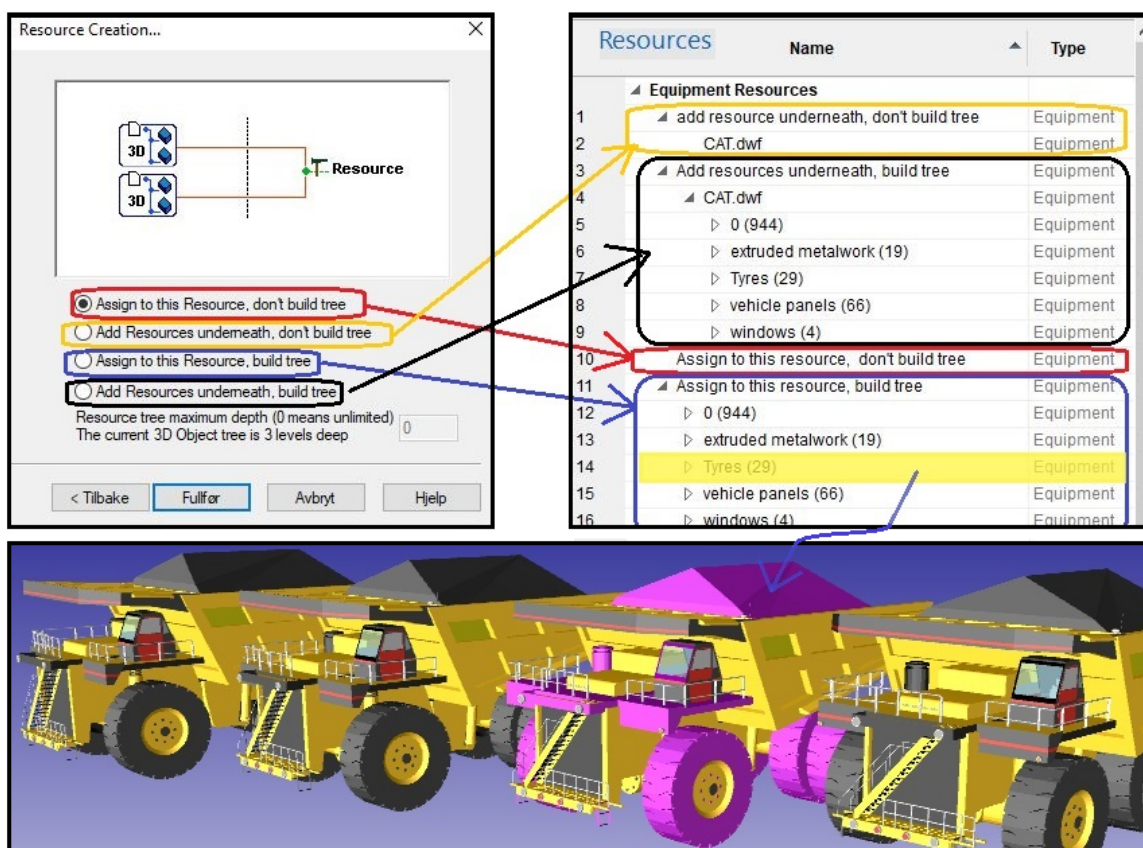
Figur 25: Eksempel på et prosjekt hvor det er importert maskiner og midlertidige riggobjekter.

Proessen ved å importere og plassere riggobjekter følger noen generelle steg, som vil forklares videre:

1. Importere modell av utstyret/maskinen.
2. Plassere og redigere utstyret i modellen.
3. Velge ønskede Appearance Profile, altså hvordan utstyret/maskinen skal fremstå.
4. Koble utstyret til en aktivitet for å gi det tidsinformasjon. Noen ganger kan det være fordelaktig å lage egne aktiviteter til utstyr/maskiner.

Import

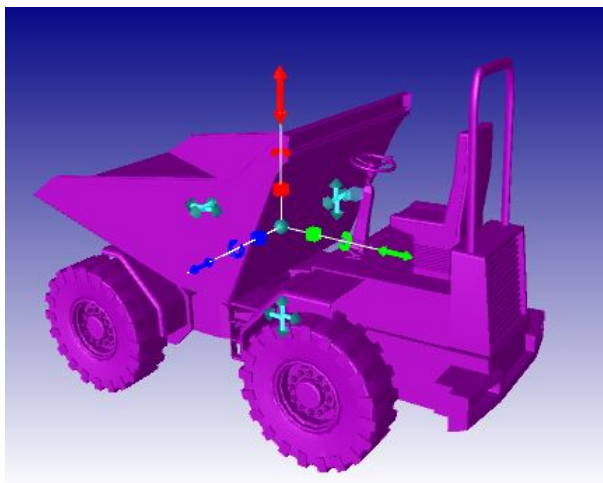
Når man importerer modeller, får man en rekke valgmuligheter til hvilke modellparametere man ønsker å importere, se vedlegg kapittel 4 for fullstendig beskrivelse. Man velger også hvorvidt modellene skal opprettes som ressurser eller ei, samt hvordan ressurstreet eventuelt skal bygges opp (gjelder ved import av 3D-filer, og ikke fra IFC). Generelt anbefaler vi å opprette modellen som en utstyrsressurs uten noen dybde på ressurstreet når man importerer riggobjekter som maskiner. Dette anbefales fordi det senere vil være ønskelig å knytte hele maskinen til samme aktivitet, og ikke separate deler av maskinmodellen til ulike aktiviteter. Se figur 26 for hvordan ressurstreet påvirkes av ulike valg. I dette eksempelet ble det importert en dumper fra Synchro sitt utstyrsbibliotek. I utgangspunktet skulle kun objekter som bygger opp dekkene på dumperen blitt markert når man markerer «Tyres», men på grunn av at det er flere objekter som ligger under denne noden, markeres de også. Dette er enda et eksempel på upresis inndeling i modellen som er importert, tidligere beskrevet i kapittel 5.3.2. Dog får dette liten praktisk betydning i slike tilfeller da man kan opprette det som en felles ressurs og unnlate å ha et ressurstre på mange noder.



Figur 26: Opprettelse av ressurser og hvordan ressurstreet blir ved ulike valg.

Redigere 3D objekter som er importert

Objektene som er importert kan flyttes, roteres og skaleres for å tilpasse de til prosjektet. Dette kan gjøres ved bruk av Simple/Advanced Manipulator i Synchro. Se vedlegg kapittel 6 for beskrivelse av hvordan man flytter, roterer og skalerer objekter i Synchro.



Figur 27: Redigering av 3D objekter ved bruk av Advanced Manipulator.

Appearance profile for utstyr og maskiner

Appearance Profile definerer hvordan ressurser opptrer når de er aktive/inaktive i henhold til fremdriftsplanen. Utstyr er noe som kan sees på som midlertidig på en byggeplass. Synchro har en forhåndsdefinert Appearance Profile tilpasset midlertidige ressurser. Ved å bruke denne vil utstyret vises med blå farge under hele tiden det er aktivt. Dette er ikke alltid ønskelig, for eksempel ønsker man heller at utstyret skal vises i sin originale farge. Dette kan da tilpasses under Appearance profiles, og det kan ofte være greit å lage noen egendefinerte profiler. For midlertidig utstyr/maskiner passer det greit med valgene Temporary, samt å sette Original Color til Active Appearance.

Koble utstyrsmodeller til aktiviteter

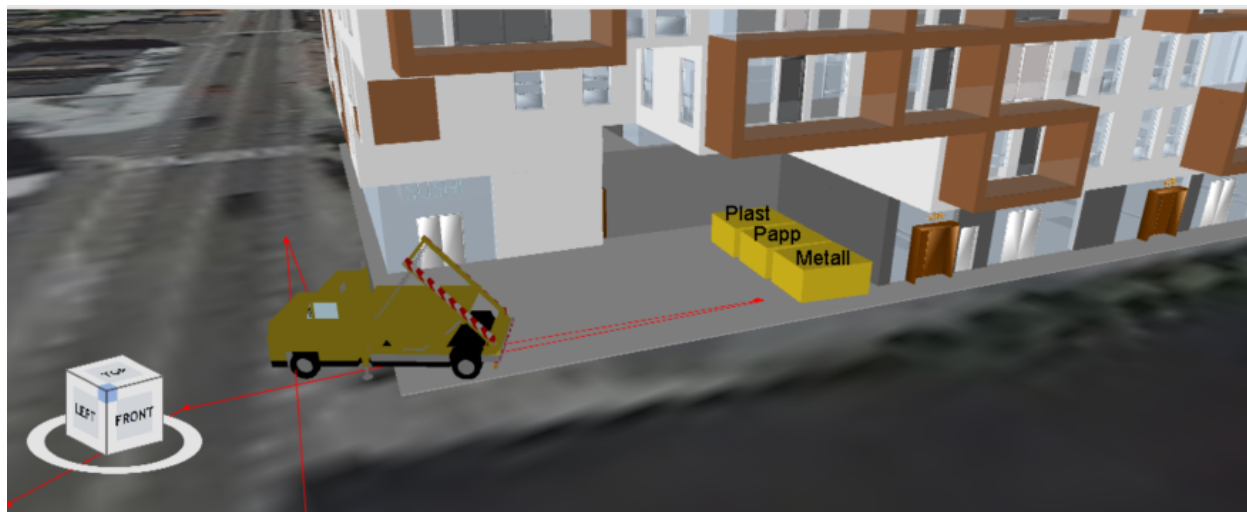
Utstyrsressursene som er importert må kobles til en aktivitet for at de skal bli synlige i 3D-visningen. Dette gjøres på samme måte som når man knytter materielle ressurser til aktiviteter, se vedlegg kapittel 7 for hvordan dette kan gjøres. Hvis man har en stor aktivitet og utstyret kun skal være synlig en viss del av tiden aktiviteten pågår, kan det være aktuelt å opprette en ny aktivitet (med kortere varighet) som er tiltenkt utstyret. Hvis man har utstyr som skal foregå over mange aktiviteter, kan det være aktuelt å opprette en egen aktivitet for dette utstyret slik at man unngår å måtte koble det til alle de ulike aktivitetene for at det skal forbli synlig (eksempelvis kan man ha en egen aktivitet som heter «tårnkran» eller lignende).

5.4.3 Modellere enkle objekter direkte i programvaren

Når man benytter 4D BIM til riggplanlegging, er det ofte ønskelig å inkludere en del objekter som ofte ikke modelleres på prosjekter; brakkerigg, byggegjerde, HMS-containerer, lagringsplasser, laste-/lossesoner, anleggsveier med mer. Man kan laste ned mange riggobjekter som 3D-modeller fra Synchro sitt utstyrsbibliotek eller andre nettsteder, men dette er ikke alltid tilstrekkelig eller hensiktsmessig da det kan være tidkrevende å finne modellene. For å slippe og spørre de modellerende på prosjektet, kan det være ønskelig å utarbeide dette direkte i programvaren, og dette er mulig. Mulighetene for modellering er likevel ganske begrensede, og egner seg best for enkle geometriske former. I figur 25 er eksisterende bygninger og containeren modellert direkte i Synchro Pro.

Ved opprettelse av objekter kan man velge mellom standardformene boks, sylinder eller sfære, i tillegg til at man kan utforme grunnflaten på frihånd. Etter man har opprettet objektet, får man spørsmål om man vil opprette det som en ressurs. Hvis man senere skal koble objektet til aktiviteter, må det først opprettes som en ressurs. Hvis ikke, kan man bare ha det som et 3D objekt. Ved modellering av for eksempel utstyrs-/avfallscontainere, så kan man tilpasse ulike farger til ulike firmaer eller man kan legge til forklarende tekst til containeren, slik som er gjort i figur 28.

Synchro Pro er ikke et modelleringsverktøy og har mange begrensninger tilknyttet dette; man kan for eksempel ikke bestemme lengdene på streker når de opprettes. Man kan dog skalere verdier opp/ned i etterkant. For å kunne modellere enkle objekter på en effektiv måte, anbefaler vi derfor å opprette en enhetsboks på 1x1x1 meter. Denne boksen er ypperlig å bruke som utgangspunkt når man skal modellere objekter senere. Da kan man nemlig duplisere enhetsboksen, opp-/nedskalere dimensjonene på duplikatet og flytte det til ønskede posisjon. Fremgangsmåten er utdypet i vedlegg kapittel 13.



Figur 28: Containerer som er modellert direkte i Synchro og tilegnet tekst. Her vises også lastebilen som skal bytte en container, samt en del av dens kjørerute som er opprettet ved å bruke 3D Paths funksjonen.

5.4.4 Tillegne bevegelser til maskiner og utstyr

Når man har importert eller modellert objekter som maskiner, utstyr, kjøretøy, kraner o.l. kan man også gi dem bevegelser for å simulere deres forflytninger utover i prosjektet. Ved å tillegne maskiner bevegelser vil man få mer dynamiske og realistiske simuleringer. Dette kan også være nyttig for å optimalisere plasseringer av objekter, vurdere varighet og plassering av anleggsveier, hvilke retninger de ulike maskiner burde jobbe for å sørge for god samhandling og HMS på byggeplassen etc.

I Synchro Pro kan dette gjøres ved å benytte funksjonen 3D Paths, hvor man oppretter en «sti» for kjøretøy- et/ressursen å følge. En slik sti *kan* også importeres fra andre programmer, som en polylinje, og konverteres til 3D Path i Synchro. Denne funksjonen kan være litt forvirrende å få til i begynnelsen og man kan lage 3D Paths på flere forskjellige måter. I begynnelsen anbefaler vi å følge fremgangsmåtene som beskrives i vedlegget systematisk, da det må gjøres nøyaktig for at det skal fungere. Etterhvert som man har gjort det noen ganger, testet de ulike fremgangsmåtene og forstår gangen i det, blir det lettere å velge sin foretrukne metode. Det blir også mindre viktig at man gjør alt i riktig rekkefølge, da man forstår bedre hvordan man kan modifisere 3D Path'ene og koblingene i etterkant av opprettelsen.

Generelt kan man si at en 3D Path må opprettes og kobles til en ressurs som er koblet til aktivitet. Allikevel er det mange aspekter innen opprettelse, kobling og redigering av 3D Paths, og de beskrives detaljert i vedlegget ved bruk av flere eksempler. Eksempel 1 tar for seg en enkel og rask måte for å simulere en lineær bevegelse mellom to punkter, her ved en gravemaskin som skal utføre utgraving. Eksempel 2 tar for seg hvordan man kan opprette og redigere en mer avansert kjørerute, her ved en containerbil som skal bytte en avfallscontainer. Eksempel 3 viser en tårnkran som roterer mellom lastesoner og ulike soner på bygget.

Grunnet 3D paths forvirrende og kompliserte natur har vi her valgt å legge ved ett konkret eksempel. Eksempelet gir også leseren innblikk i verktøyets brukervennlighet, som kan kritiseres. Videre beskrives det første eksempelet, altså en enkel lineær bevegelse for en gravemaskin. Beskrivelsen er tredelt, og delene tar for seg henholdsvis

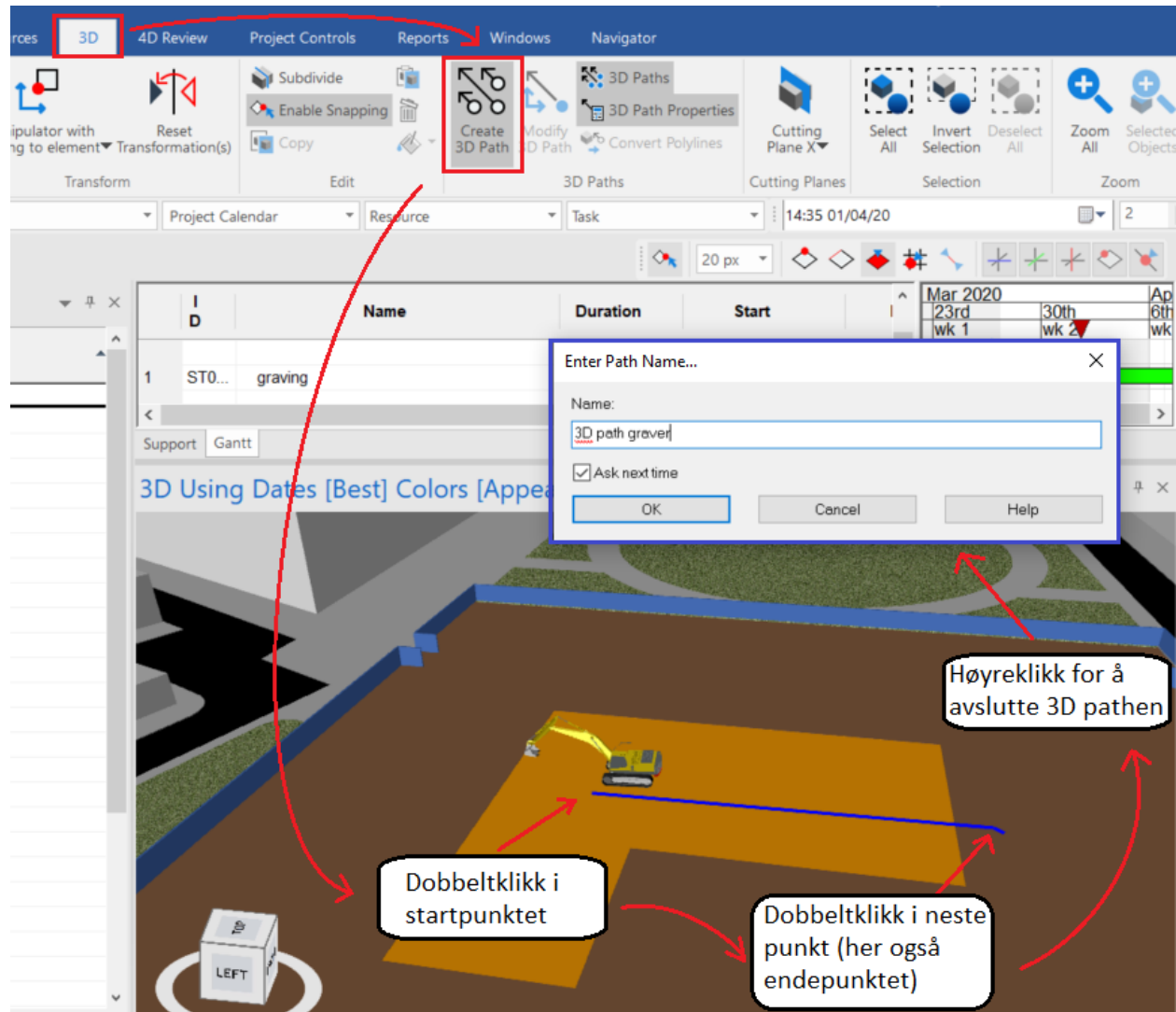
1. Opprettelse av en 3D path
2. Sammenkobling av 3D path og ressurs
3. Redigering av 3D path

For beskrivelser av de andre eksemplene, som vises i figur 32 og figur 33, se vedlegg kapittel 12.

Eksempel på bruk av 3D Path for å tillegne en lineær bevegelse til en gravemaskin

1. Opprette en 3D path

Trykk i 3D fanen → Create a 3D Path. I dette tilfellet er «snap to face» aktivert, ettersom Pathen skal følge overflaten. Beveg den grønne dotten / musepekeren til der hvor 3D Pathen skal starte, dobbeltklikk for å sette første punkt. Beveg til neste punkt og dobbeltklikk for å velge. Høyreklikk for å avslutte Pathen. Høyreklikk i 3D visningen → Visual Indicators → 3D Paths for å slå av/på visningen av 3D Paths. Se figur 29.

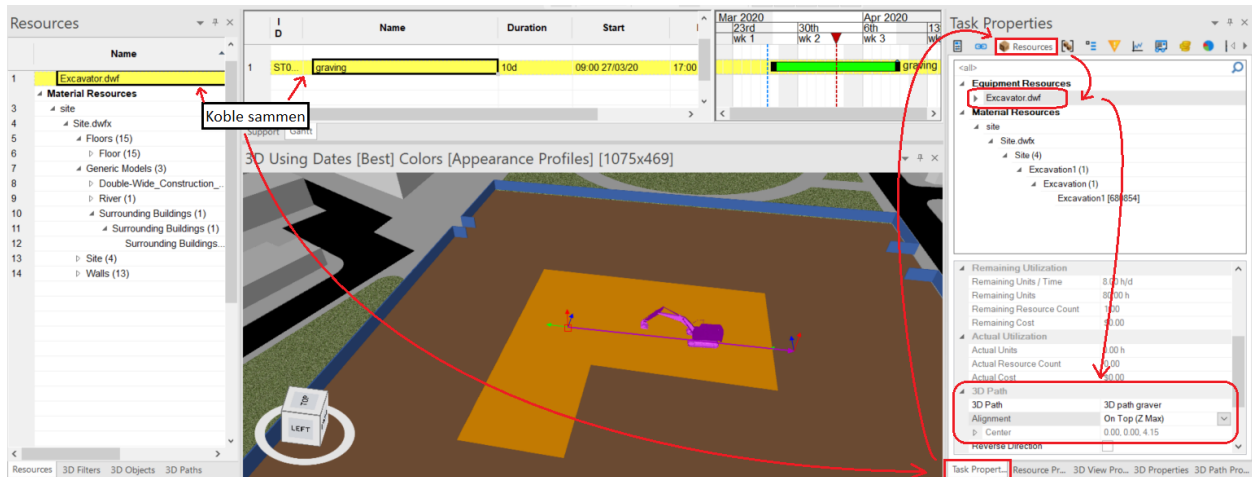


Figur 29: Hvordan lage en 3D Path.

2. Koble 3D Path til en ressurs

Når en 3D Path er laget, så må den knyttes til en ressurs (feks gravemaskin) som er knyttet til en aktivitet (feks graving). Når denne koblingen gjøres, vil ressursen (gravemaskinen) bevege seg iht Pathen i løpet av varigheten til aktiviteten. For å gjøre dette, følg stegene under (se også figur 30):

1. Velg ressursen (maskinen), og koble den til aktiviteten (graving).
2. Velg aktiviteten, gå i Task Properties → Resources.
3. Bla nederst i ressurs-treet og finn den aktuelle ressursen (maskinen). I dette tilfellet kan vi se i figuren at aktiviteten er koblet til både en materiell ressurs (selve jorda som skal graves vekk) og utstyrressursen (gravemaskinen) som vi koblet sammen i første steg. Her er det maskinen som skal tilegnes bevegelsen som er opprettet i 3D Pathen, så dermed er det den som skal velges. Da ender man med resultatet som vises i figur 30, hvor maskinen følger Pathen. I dette tilfellet kan det være ønskelig at jorda fjernes samtidig som gravemaskinen beveger seg bortover. Dette kan ikke gjøres ved å koble jorda direkte til 3D Pathen, da vil hele ressursen flyttes. Man kan derimot tilegne Appearance Profile til jorda (f.eks Remove med vekstretning fra venstre til høyre).
4. Scroll ned i Task Properties → Resources fanen og finn 3D Path, endre denne til det som den aktuelle 3D Pathen ble kalt.
5. Her kan man også gi den en Allignment, det vil si hvordan objektet skal følge 3D Pathen (feks «On Top (Z max)») for en gravemaskin som skal følge toppen av Pathen, her var Snap To Face aktiv da pathen ble opprettet og dermed vil Allignment On Top i dette tilfellet samsvare med overflaten).
6. Dra fokustiden gjennom aktiviteten for å se hvordan ressursen beveger seg etterhvert som aktiviteten pågår.

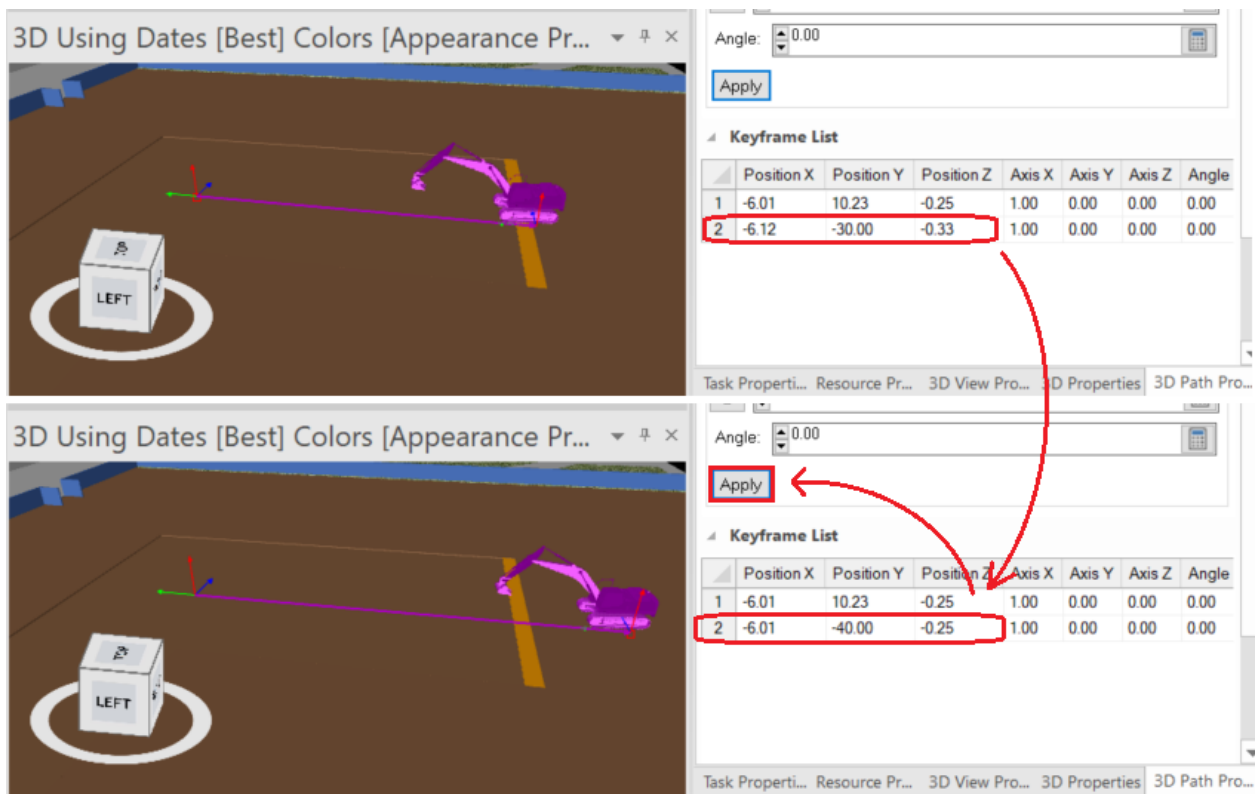


Figur 30: Hvordan sammenkoble en 3D Path med ressurs.

3. Redigere 3D Path

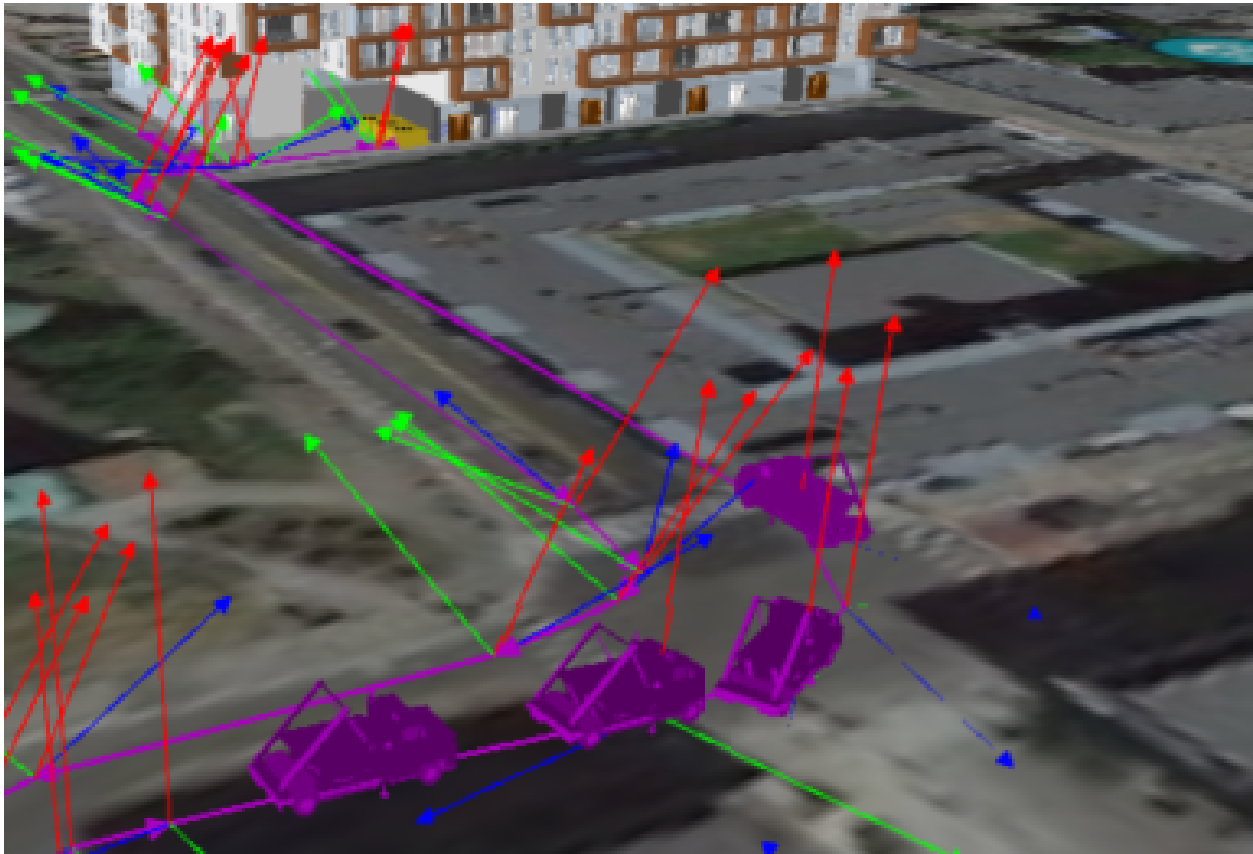
Ethvert punkt man definerer når man oppretter en 3D Path lagres som et Keyframe, eller et nøkkelbilde, med koordinater som kan endres i etterkant. Åpne 3D Path Properties for å bla mellom de ulike Keyframes'ene. Keyframe 1 definerer startposisjonen og hvis man bare har to punkter vil Keyframe 2 referere til sluttpunktet. Koordinatene og rotasjonen til de ulike punktene kan endres i listen. Navigering og endring i Keyframes fungerer best når aktiviteten, ressursen og Pathen er merket samtidig.

I dette tilfellet skal maskinen bevege seg langs y-aksen. Dermed kan x og z verdiene være identiske i Keyframe 1 og 2. Dette kan gjøres ved å kopiere verdiene fra 1 til 2 når man blar mellom de ulike, eller ved å gå i Keyframe List og skrive inn verdiene der. Man kan også endre en 3D Path ved å velge "Modify 3D Path"(høyreklikk i 3D Paths → Modify eller høyreklikk i 3D vinduet → Edit → Modify 3D Path). Da får man opp en 3D Path Manipulator som man kan flytte rundt i visningen, da vil koordinatene til Keyframesene oppdateres automatisk. Se figur 31 for en slik oppdatering av koordinatene til en 3D Path. Her ble bevegelsen endret til å følge y-aksen, samt ble endringen i verdiene på y-aksene gjort for å tilpasse maskinens bevegelse til farten på utgravingen av massene.

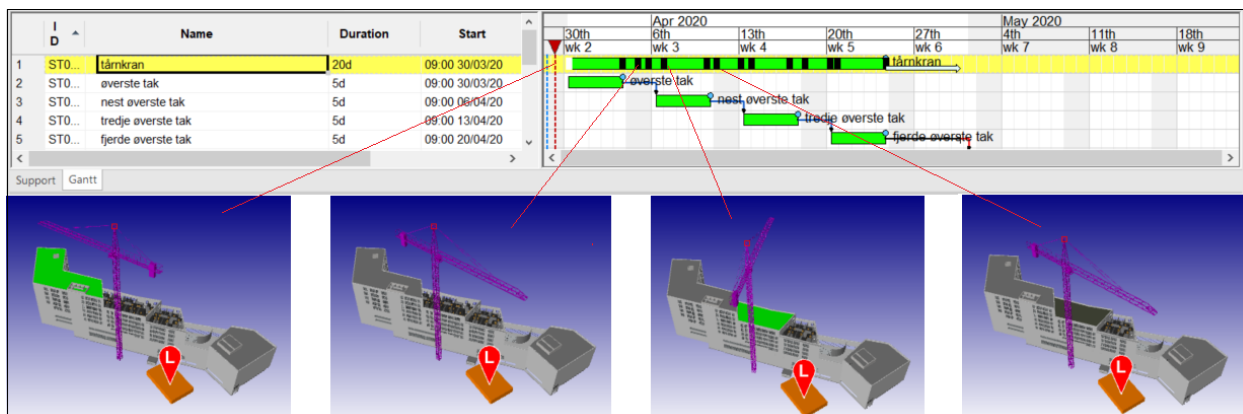


Figur 31: Hvordan redigere koordinatene til en 3D Path.

Under vises to utklipp fra de andre eksemplene som detaljbeskrives i vedlegget. Disse tar for seg mer avanserte bevegelser som innebærer rotasjoner i tillegg til posisjonsendringer. Eksempelet med tårnkranen tar også for seg hvordan man kan tilpasse kranens Keyframes til en annen aktivitet eller 3D Path slik at timingen på bevegelsene blir korrekte.



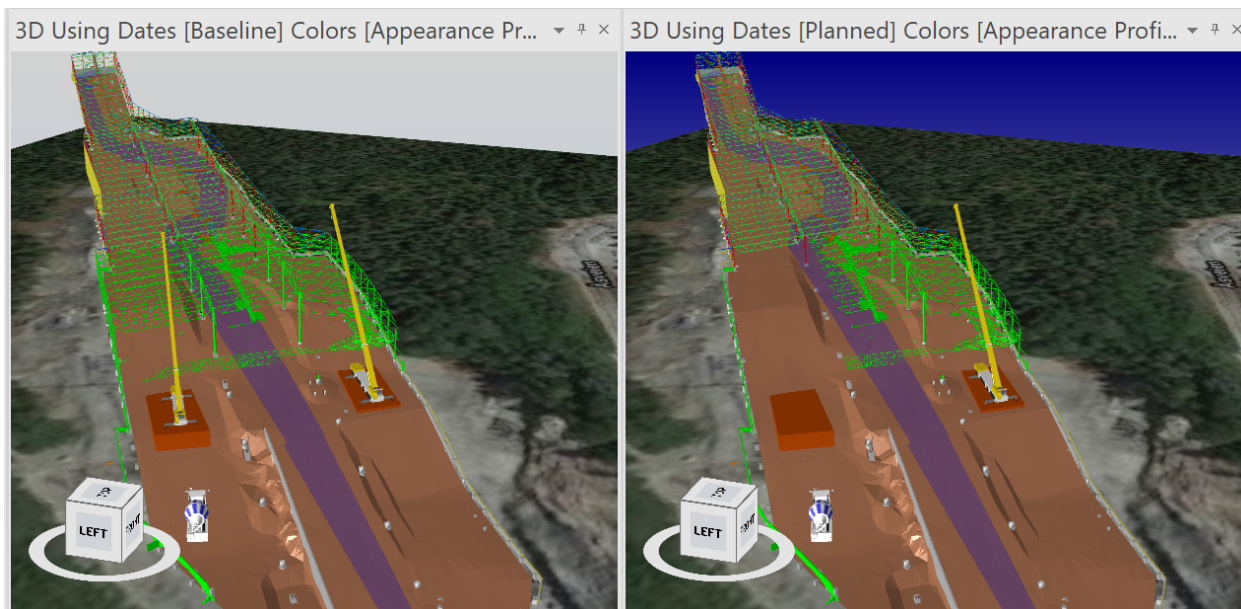
Figur 32: 3D Path, eksempel 2: Containerbil som ankommer prosjektet fra hovedveien, rygger inn og skifter en avfallscontainer før den forlater prosjektet.



Figur 33: 3D Path, Eksempel 3: Tårnkran som roterer mellom ulike soner på bygget og lastesonen (L). Her vises et utklipp av noen keyframes for tårnkranen ved ulike tidpunkter. Her er posisjonene tilpasset tidpunktene som er angitt de ulike aktivitetene.

5.4.5 Vurdere alternative gjennomføringer

Tidligere i oppgaven er det nevnt at man kan oppnå *mer robuste planer* ved å benytte seg av 4D-planlegging. Dette er blant annet fordi man kan teste ulike planer opp mot hverandre ved hjelp av simuleringer. Dette kan også være nyttig å bruke som hjelpemiddel innen riggplanleggingen. Man kan for eksempel simulere ulike plasseringer av anleggsveier eller ulike arbeidsretninger for å se hvilke konsekvenser dette vil ha utover i prosjektet. Dette tilrettelegger for en gjennomtenkt og helhetlig planlegging av riggens utvikling. For å realisere disse mulighetene ved hjelp av Synchro Pro som programvare kan man benytte seg av funksjonen «Baselines». I det videre vil den overordnede fremgangsmetoden presenteres, se vedlegg kapittel 16 for ytterligere detaljering av fremgangsmåten. Eksempel på resultat som kan oppnås er vist i figur 34.



Figur 34: Eksempel på grafisk simulering og sammenligning av to ulike planer (sekvensiell versus parallell montasje av stål) i Synchro Pro.

Fremgangsmåte i Synchro Pro:

- 1. Opprett den opprinnelige planen som Baseline**

Først lagrer man den opprinnelige planen (eller de delene av planen som man vil sammenligne) som en «Baseline». Det vil si at man lagrer dette som et utgangspunkt. For å gjøre dette velger man de aktuelle aktivitetene, høyreklikker i planleggingsvinduet og velger «baseline selected tasks».

- 2. Utarbeid eller synkroniser den alternative planen**

Deretter kan man gjøre de endringer man vil, enten direkte i programvaren eller ved å synkronisere fra et eksternt planleggingsprogram.

- 3. Sammenlign alternativene i sidestilte 3D-vinduer**

Åpne et nytt 3D vindu og sidestill vinduene. Deretter velger man hvilke plan de ulike vinduene skal vise (Best, Actual, Planned, Proposed, Baseline eller Original dates). Når to ulike planer er valgt, kan man visualisere de ulike planene samtidig ved å flytte fokuslinjen utover i prosjektet.

6 Diskusjon

Dette kapitlet foretar en diskusjon av resultatene som ble fremlagt i kapittel 5. Hensikten med diskusjonen er å komme frem til svar på forskningsspørsmålene som ble presentert i kapittel 1.

6.1 Hva er mulighetene ved å bruke 4D BIM?

4D BIM har potensial til å forbedre ulike forhold innen byggeprosjekter, og mulighetene er mange. I kapittel 5.1 ble flere av disse mulighetene fremlagt, og i dette delkapitlet blir disse diskutert.

Mer robuste og pålitelige planer

Det er tidligere fremlagt fordeler tilknyttet alle de ulike plannivåene; helt fra hovedfremdriftsplaner, som utarbeides i tidligfasen av prosjekter, og ned til de laveste nivåene av planlegging, som utkikks- og ukeseplanlegging.

På tidlige stadier kan en simulering av gjennomføringen være nyttig blant annet for å velge den mest effektive gjennomføringsstrategien og oppføringsrekkefølgen av ulike bygningsdeler. Det at man visuelt kan teste ulike planer opp mot hverandre, gir et bedre beslutningsgrunnlag, og vil føre til mer pålitelige planer. Slike tester hever terskelen for dårlige planlagte sekvenser, ved at man øker sannsynligheten for å oppdage feil i og forbedringspotensial til planen, og kan eliminere dette. Dette vil kunne føre til utarbeidelse av mer robuste planer, som enklere kan kommuniseres. Et eksempel på dette er vist i kapittel 5.4.5, der to alternative gjennomføringer vises side om side.

Vi anser det som særlig fornuftig å benytte 4D BIM i utkikksprosesser. Sammenlignet med tradisjonelle planleggingsmetoder, vil potensielle hindringer og barrierer som kan forsinke produksjonen, i større grad identifiseres. Hindringer som kan være glemt eller ignorert tidligere, kan virke åpenbare når planen visualiseres ved bruk av 4D BIM. Visualisering med 4D BIM gjør at planene kan endres, og man vil i større grad sørge for at arbeidsflyten på byggeplassen opprettholdes, som er sentralt i henhold til både LPS og Lean.

I LPS er læring en vesentlig del av planleggingsprosessen, ved at man bruker erfaringer fra gjennomføringen til å forbedre videre planlegging. Ettersom byggeprosjekter er unike leveranser, og hvert prosjekt gjennomføres én gang, kan det være utfordrende å oppfylle læringsaspektet i LPS. Dette gjelder spesielt tilknyttet langsiktige planer. Ved at 4D BIM muliggjør en visuell gjennomgang av planen i forkant av utførelsen, åpner det samtidig opp for at læringssteget i LPS kan blir gjort *før* gjennomføringen, og bidrar dermed til å styrke planen ytterligere. Ved at læring og optimalisering av planene skjer forut for utførelsen, legges det til rette for mindre sløsing i gjennomføringen. Slik vil bruk av 4D BIM bidra til å gjøre byggeprosjekter mer Lean.

Bedre forståelse for hva som er planlagt og mer effektiv kommunisering av planene

Det å koble sammen en BIM-modell med en fremdriftsplan tilfører i utgangspunktet ikke noe ny informasjon. Sammenkoblingen vil likevel bidra sterkt til en bedre *forståelse* av informasjonen. En av de mest utbredte og åpenbare fordelene ved 4D BIM er nettopp muligheten for å visualisere produksjonsprosessen. Det at man har forståelig informasjon i en modell som enkelt kan deles, åpner opp for raskt og presis kommunikasjon.

4D BIM egner seg for bruk når man skal presentere sin plan; både til personer som aktivt involverer seg i prosjektet, men også til øvrige interessenter. Slike fremvisninger gjør den planlagte byggeprosessen enkel å forstå, og kan bidra til å overbevise blant annet interessenter som naboer og offentlige godkjenningmyndigheter. Dette kan føre med seg at man enklere oppnår byggegodkjenning, som kan muliggjøre tidligere igangsettelse og realisering av prosjektet.

De mer tradisjonelle planleggingsmetodene innebærer at man setter opp en aktivitetsbasert fremdriftsplan som er basert på hvordan en planlegger forestiller seg gjennomføringen. Planene opprettes for eksempel i Excel eller MS-Project, og fremstilles gjerne ved bruk av Gantt-diagrammer. Slike diagrammer er intuitive så lenge de er begrenset til et fåtall aktiviteter og avhengigheter. Dette er ofte ikke tilfelle i store byggeprosjekter, og mange stiller seg kritiske til den aktivitetsbaserte tilnærmingen. Blant hovedårsakene til dette, er at lokasjonene ikke direkte hensyntas. Dette, sammen med at planene ofte blir uoversiktlige, gjør det krevende å oppdage tid/plass-konflikter samt mulige forbedringer til planene. For å bøte på dette, kan 4D BIM benyttes. Ved bruk av 4D BIM sammenkobler man nemlig aktivitetene med de tilhørende objektene lokasjonsinformasjon, og dermed foretas det kobling mellom tid/rom. Ved å utføre simuleringer, synliggjøres eventuelle tid/rom-konflikter, og disse kan effektivt elimineres. Ulike 4D-programvarer, deriblant Synchro Pro, tilbyr også muligheten for å utføre dataassisterte tid/rom-kollisjonstester. Slik vil implementering av 4D BIM bidra til å redusere de negative konsekvensene ved å benytte aktivitetsbasert planlegging.

Det er også stor enighet om at visualisering av planen er noe som kan gi stor nytte innen blant annet rigg- og logistikkplanlegging. Det åpner opp for å modellere inn midlertidige objekter som maskiner og utstyr. Vurderinger tilknyttet anleggsveier og deres plassering kan også være nyttig, ettersom ufullstendig planlegging kan medføre kostbare omlegginger av disse. Det er også viktig at anleggsveiene til enhver tid er operative for å kunne opprettholde god leveranse- og produksjonsflyt på byggeplassen. Ytterligere om hvordan man kan bruke 4D BIM til riggplanlegging diskuteres i kapittel 6.4.

4D BIM muliggjør effektiv utveksling av informasjon, som er enkel å forstå. Dette kan redusere sannsynligheten for blant annet misforståelser og feilproduksjon, som er blant bidragsyterne til sløsing i byggebransjen. Det er mange personer med ulik bakgrunn som involverer seg i den norske byggebransjen. Språkbarrierer oppstår hyppig, og er en stor kilde til misforståelser og avvik i produksjonen. Feilproduksjon kan føre til at man må gjøre ting om igjen, og sløser dermed med ressurser som arbeidskraft og materialer. Sløsing av materialer gir en større negativ miljøpåvirkning enn nødvendig, og det koster penger. I tillegg til at dobbeltarbeid krever unødvendig fysisk anstrengelse, oppfates det ofte som unødvendig og psykisk demotiverende. 4D BIM egner seg godt for mer nøyaktig planlegging og kommunikasjon, og kan dermed bidra til å redusere mengden feilproduksjon og dobbeltarbeid, som igjen potensielt kan hindre unødvendig negativ påvirkning av arbeidsmiljøet.

Et godt verktøy i anbudsprosesser

Enklere kommunikasjon av planen kan gi mange ulike fordeler og effekter for blant annet hovedentreprenører. Allerede i anbudsfasen kan simuleringer av byggeprosessen fremvises som del av en anbudspresentasjon. I utgangspunktet krever det lite ressurser for entreprenøren å lage en overordnet animasjon på dette stadiet, men en simulering av planen kan likevel virke overbevisende og imponerende på byggherren. Dette kan

også gi entreprenøren større påvirkningsmuligheter, ettersom det blir enklere å overbevise om deres valg av gjennomføringsmetode. Der det ikke foreligger en BIM-modell i anbudsgrunnlaget, krever det at entreprenøren har mulighet til å modellere en skisse av sitt konsept. Selv om dette krever noe ressurser, viser det at man er villig, og har kompetansen, til å bruke ny teknologi. Når man skal bruke 4D BIM som et virkemiddel for å vinne et anbud, bør det gjøres skikkelig, ettersom en dårlig animasjon/fremvisning kan ha motsatt effekt. Videre vil entreprenøren kunne vise 4D-modellen for ulike underentreprenører senere: De vil enklere forstå planen, og kan komme med forslag til forbedringer, som i tråd med LPS kan føre til en mer effektiv produksjon. Effektivisering av produksjonen, kombinert med større trygghet til planen (lavere risiko), åpner også opp for å prise og utføre jobber billigere.

Redusere unødvendig ressursbruk

Det snakkes stadig om et produktivetsfall i bygge- og anleggsvirksomheten de siste tiårene, og for å ta tak i produktivetsfallet, ser mange mot en tankegang som industrialiserer byggeprosessen, Lean. Litteraturen beskriver at det å redusere antall feil som gjøres underveis, burde være ett av fokusområdene for å redusere unødvendig forbruk av ressurser. Tabell 13 sammenkobler noen av litteraturens faktorer som bidrar til feil, med noen av de mulighetene som 4D BIM gir.

Tabell 13: Eksempler på hvordan 4D BIM kan være med å gjøre byggebransjen mer Lean.

Feil som fører til unødvendig bruk av ressurser	Hvordan 4D BIM kan bidra til å få bukt med de
Prosjektering som ikke er tilpasset produksjon	4D er egnet for å vurdere byggbarhet
Unødvendig intern transport	4D BIM kan blant annet brukes til riggplanlegging i form av kranplassering og inntransport av materialer.
Leveranser ankommer for tidlig/seint	4D støtter «just in time» leveranser
Dårlig samspill mellom ulike entreprenører	4D bedrer kommunikasjonen
Uegnede arbeidsmetoder eller utstyr	Med 4D BIM kan man modellere inn midlertidige objekter og utstyr. Med en visuell kontroll kan man avsløre problemer og forbedre planen
Dårlig organisering av folk på byggeplassen	4D gjør det enklere å optimalisere bruken av arbeidsinnsats

Visualisering av planen er ifølge litteraturen godt egnet for å redusere sløsing av ressurser, og ved bruk av 4D BIM har man muligheten til å visuelt gjennomgå planen og lete etter problemer. 4D BIM er i tråd med mange av prinsippene, og gjør at man kan planlegge sekvenser med større nøyaktighet, og redusere sløsing som for eksempel ineffektivt arbeid, buffere og ventetid. Større nøyaktighet er forenelig med mindre sløsing i henhold til Lean-filosofien. Videre vil 4D BIM gi muligheter for raskere og mer nøyaktig kommunikasjon, som eksempelvis kan effektivisere eller fjerne behovet for mange møter. Hjemmekontor har i løpet av det siste halvåret blitt mer aktuelt, og dette kan gi 4D BIM en større rolle. Fremover kommer det potensielt til å avholdes flere digitale møter, og mulighetene for fysisk tilstedeværelse på byggeplassen kan bli redusert. Bransjen må tilpasse seg dette, og man kan bruke 4D BIM til å visualisere, justere og kommunisere planer digitalt, på en måte som er tydelig for alle involverte.

Bedre HMS-planlegging

4D BIM kan også brukes til å forbedre flere aspekter som omhandler arbeidsmiljø. Det gir gode muligheter for å arbeide sikrere, ved at man kan planlegge arbeidet i detalj, lenge før det faktisk skal utføres. Dette tilrettelegger også for at man kan planlegge sikkerhetstiltak *før* risikoen oppstår. Et eksempel på dette, er ved innheising og montasje av hulldekker: Når man simulerer den planlagte montasjerekkefølgen, vil man oppdage hvor og når det oppstår behov for fallsikringstiltak. I 4D BIM-programvarer kan man legge inn midlertidige objekter som markerer ulike HMS-risikoer, som også kan gis tidsinformasjon slik at de kun vil være synlige i det tidsrommet trusselen er aktuell. Det kan også være nyttig når man planlegger anleggsveier og personelltrafikk. Med god planlegging, kan man unngå mange menneske/maskin-konflikter ved å tilrettelegge for blant annet minimalt med rygging, samt å ha faste soner for lasting/lossing. Videre vil visualisering kunne bidra til å unngå dårlige arbeidsstillinger ved at man oppdager problemer i planleggingen, og kan tilrettelegge for andre utførelsesmetoder, rekkefølger eller valg av utstyr.

Som verktøy i kostnads- og prosjektstyring

Fremdriftsplanen danner basisen for når i gjennomføringen man har behov for ulike ressurser som arbeidskraft, utstyr, leveranser og materialer. Denne ressursbruken er tilknyttet kostnader, og fremdriftsplanlegging er derfor sterkt koblet til økonomiplanlegging. Når man knytter 3D-modellen til både tid og kostnad, er resultatet det som kalles en 5D-modell. Denne oppgaven dreier seg om 4D BIM, men en av mulighetene man får ved å implementere 4D, er også at veien videre til 5D blir «kortere». En slik overgang krever noe mer av programvaren, ved at elementene i modellen også må kunne tilegnes kostnadsinformasjon. Synchro Pro tilbyr dette, og det er en relativt enkel fremgangsmåte for å utføre dette.

En utarbeidet 4D-modell kan også brukes til oppfølging av fremdriften underveis, for eksempel med Synchro Site. Man kan for eksempel måle i hvilken grad det utførte arbeidet svarer til planlagt fremdrift ved ulike tidspunkter. Avstemmingen av fremdrift kan gjøres på en tablet/telefon av de som har utført arbeidet. Byggeplassledelsen får da oppdatert informasjon om alle fagenes fremdrift i modellen, og det gir gode muligheter for en modellbasert oppfølging av byggeplassen. Slik kan man potensielt redusere møtevirkosomhet tilknyttet fremdrift, og heller fokusere på utfordringer og videre planlegging i møtene. I litteraturen beskrives ineffektive møter som sløsing, og oppfølging og avstemming med 4D BIM kan altså være med å redusere dette. Hvis man tilfører kostnadsdimensjonen i modellen, kan avstemming av fremdrift gi ytterligere nytte for byggeplassledelsen. Det vil da være mulig å sammenligne utført fremdrift samt påløpte kostnader, mot det som var planlagt. Med dagens metoder er dette arbeidet tidvis tidkrevende, og prosjektledelsens ressursbruk i forbindelse med oppfølging kan potensielt reduseres kraftig. Det kan kreve noe mer tid i forbindelse med utarbeidelsen av modellene, men bruk av 4D og 5D i planleggingen gir store muligheter for modellbasert styring og oppfølging av prosjekter. Det åpner også for at mye av byggeplassledelsens arbeid innen blant annet økonomioppfølging kan automatiseres i større grad kan. Hvorvidt individer aksepterer ny teknologi, baserer seg blant annet på til hvilken grad de oppfatter at det å bruke teknologien gir vesentlige fortrinn, sammenlignet med dagens løsninger. Vi tror at mange prosjektledere, samt andre som bruker mye tid på økonomi- og fremdriftsoppfølging, vil få økt grad av motivasjon til å implementere 4D, dersom de også presenteres for mulighetene som 5D kan gi. Ettersom prosjektledere har stor påvirkningskraft og beslutningsmyndighet, tror vi at det å motivere disse til en mer modellbasert tankegang kan sette fart på implementeringsgraden av 4D BIM.

6.2 Hvilke utfordringer er tilknyttet 4D BIM?

På tross av alle de positive effektene som er diskutert, er 4D BIM implementert i relativt liten grad i byggebransjen. Mange av de positive effektene er beheftet med ord som *kan være, mulige effekter* eller lignende, og dette kan være fordi det er vanskelig å konkretisere og tallfeste verdien av dem. Det kan også tyde på at implementeringen er på et tidlig stadie, slik at man ikke enda har tilstrekkelig med erfaringsgrunnlag til å hevde hvilke eksakte fordeler det bringer med seg. I dette delkapittelet foretas det diskusjoner rundt flere av utfordringene som bransjen står ovenfor tilknyttet bruk av 4D BIM.

Implementering og bruk av 4D BIM er ressurskrevende

Implementering av digitale verktøy krever ressurser, og dette fører til at mange bedrifter stanser allerede her. Svært mange bedrifter ser ut til å fokusere på kortsiktig profitt, fremfor å legge til grunn en langsiktig tankegang i henhold til Lean-filosofien. Hvis man ønsker å bruke 4D BIM, vil man naturligvis behøve programvare og teknisk utstyr som støtter implementeringen, i tillegg til personell med kunnskaper. Dette stiller kompetansekrav til egne ansatte, som sannsynligvis behøver opplæring, eller så må man leie inn konsulenter. Dette er valg som bedriften må ta når de velger strategi for implementeringen. Bedriften må også ta valg tilknyttet prosessene: Hvordan vil implementering av 4D BIM påvirke virksomheten, hvordan skal prosjektorganisasjonen se ut? Her kreves det en revurdering og muligens omlegging av forretningspraksisen som utføres per dags dato.

Hvilken detaljeringsgrad gir størst nytte?

Om man ønsker å bruke 4D BIM, er det svært viktig å definere hvilken detaljeringsgrad 4D-modellen skal ha til enhver tid. Er det ønskelig å kun illustrere gjennomføringen på hovedfremdriftsplannivå, eller vil man ta i bruk simuleringer ned på ukeplannivå? Dette er et sammensatt spørsmål, og det er vanskelig å si hva som svarer god bruk av ressurser, og hva som er overflødig. Vedrørende ressursbruk, er forskjellene potensielt svært store: Om man benytter 4D BIM på hovedfremdrifts- eller faseplaner, vil det ofte kun være behov for å modellere opp én gang. Sammenlign dette med 4D BIM på ukeplannivå: Her må man sannsynligvis revidere og oppdatere 4D-modellen flere ganger i uka. Om ikke slike endringer håndteres automatisk i programvaren, krever det mye ressurser, og det er langt fra sikkert at dette forbruket blir inntjent, selv med detaljrike simuleringer. Hvordan hvert prosjekt ønsker å bruke 4D BIM bør avklares tidlig, slik at alle prosjekterende er klar over hva som skal leveres.

Dårlig modelleringsgrunnlag

En av grunnene til at vi tror mange sliter med å finne ut hvor mye nytte 4D BIM gir på forskjellige nivåer, er at modellgrunnlaget generelt er for dårlig. Det er vanskelig å få til god bruk av 4D BIM når 3D-modellene er ufullstendige og mangelfulle. Dette gjør seg spesielt merkbart når man ønsker å bruke 4D BIM for mer detaljerte planer. Store arbeider som fasader eller støpesequenser (få store modellobjekter), krever mindre av modelleringen enn for eksempel detaljerte simuleringer av tekniske arbeider (mange små objekter). En bør strebe etter å få dagens modellering opp mot nivået til dagens krav. Videre diskusjon om modellering foretas i kapittel 6.3.

Mangel på kompetanse

I tillegg til at 4D BIM krever ressurser i form av personell, krever det også personell med rett kompetanse. Generelt er kompetansen blant BIM-spesialister høy, sammenlignet med hva den er hos en vanlig byggeplassfunksjonær. Dette spriket i kompetanse kan føre til at ledelsens intensjoner om å innføre 4D BIM, blir utfordrende å overholde for de enkelte prosjektene. For å bekjempe dette, må bedrifter vurdere å investere mer ressurser rettet mot både opplæring av personell. Det være seg for eksempel kursing, innleie av spesialister og/eller tilgang på programvarelisenser. I tillegg bør man akseptere at det vil forekomme utfordringer tilknyttet kompetansebehov til riktig bruk av både arbeidsprosesser og programvare i starten av implementeringen. For å utvikle kompetansen, bør man trolig ikke stille for store krav til resultater etter forsøk nummer én, men heller søke kontinuerlig forbedringer. På denne måten vil man kunne heve det generelle kompetansenivået, kontinuerlig forbedre prosessene, og man vil sannsynligvis på lang sikt kunne høste fruktene av dette.

Lite verdi for eier?

Det finnes argumenter for at 4D BIM i seg selv gir lite verdi for eier. I de fleste tilfeller har eier ingen spesifikke behov for å se simuleringen av byggeprosessen. Det er fortsatt det samme bygget som vil bli oppført, og det er bygget i seg selv som gir eieren verdi. Om eier har lagt avsatt ressurser til bruk av 4D BIM, kan man derfor si at 4D BIM i stedet bidrar til sløsing, sett fra eierperspektivet. På en annen side, kan man like enkelt argumentere for at 4D BIM har potensial til å gi enormt stor verdi: På et tidlig stadié kan det hjelpe eier til å visualisere bygget og gjennomføringsplanen på en måte som tidligere ikke har vært mulig. Eier kan identifisere kompliserte forhold tilknyttet oppføringen av bygget som kan være store kostnadsdrivere i gjennomføringsfasen. Ved å eliminere slike forhold, kan eieren potensielt spare byggekostnader. Videre ut i prosjektet kan 4D BIM belyse feil og mangler i planleggingen, og ved å rette opp i disse, kan potensielt byggetiden reduseres samt kvaliteten økes. For eksempel vil forkortet byggetid absolutt være med på å skape verdi for eier, da byggekostnadene kan bli betraktelig reduserte og bygget kan tas i bruk tidligere.

Konservativ bransje

Bransjens konservative holdninger og generell aversjon mot risiko er også et stort hinder, og det er en tendens til å falle tilbake til gamle arbeidsmetoder. I litteraturen kom det frem at, på tross av at fremdriftsplanene opprettes av prosjektplanleggerne og -ledere, ble selve koblingen av plan og 3D-modell (utarbeidelsen av 4D) overlatt til spesialister. Samtidig var det enighet om at dette *burde* blitt utført av prosjektplanleggerne og -lederne selv. En spesialist vil bruke kortere tid på å sette sammen en slik modell, enn en planlegger som ikke innehar den rette kompetansen. Likevel mener vi det vil ha stor verdi, hvis planleggerne selv kan ta fatt på slike oppgaver. Selv om det vil kreve en del ekstra tid i begynnelsen, så vil de lære seg programvaren underveis og bli gradvis mer effektive. Ved å gjøre det selv, vil de også få bedre kunnskap og oversikt over hvilke arbeider som skal foregå til enhver tid. Det at planleggerne vier mer oppmerksomhet til planleggingen, vil i seg selv føre til mer gjennomtenkte planer. Som Dwight D. Eisenhower påpekte, har nemlig selve planleggingen også stor betydning: «Plans Are Worthless, But Planning Is Everything». Selv om det kan være krevende å få prosjektlederne med på den modellbaserte tankegangen, tyder funnene på at bransjen er av den oppfatning at de *burde* ta større del i digitaliseringsprosessene.

Programvarenes brukervennlighet og funksjonalitet

Når det gjelder verktøyene og programvarene som benyttes, er det fortsatt vesentlige utfordringer tilknyttet deres brukervennlighet og funksjoner. Mange av de tilgjengelige programvarene ser ut til å ha mangler, og dette er med på å bremse implementeringen av 4D BIM. Om det er for vanskelig å sette seg inn i programmene, er det også mindre som skal til før man gir opp og faller tilbake til gamle arbeidsmetoder. Spesielt om 4D BIM skal brukes til detaljerte arbeider som ukesplanlegging eller oppfølging av fremdrift ute på byggeplassen, kreves det mer av verktøyene. Likevel er det for enkelt å kun skylde på programvarene. Hvis nevnte objekter er merket med feil eller ufullstendig informasjon, hjelper det ikke nødvendigvis å ha verdens mest avanserte 4D-verktøy. Objektmerking og klassifisering er viktig, for i løpet av vårt arbeid i Synchron Pro, har vi erfart at det er mulig å gjøre veldig mye med programvaren så lenge modelleringsgrunnlaget er godt.

For høye ambisjoner

Mulighetene er, som diskutert tidligere, mange, og med programvarer som Synchron Pro kan man benytte 4D BIM til å planlegge prosjekter på en helt annen måte enn tidligere. De tilgjengelige funksjonene er mange og varierte, og de åpner opp for å løse avanserte problemer på enkle måter. Mange har ambisjoner om å benytte mange av disse funksjonene når 4D BIM skal brukes, men det er en rekke utfordringer som hindrer slik bruk av arbeidsmetoden. Våre studier innen området tyder på at mange tar seg «vann over hodet», og forsøker å implementere 4D BIM på et dårlig modelleringsgrunnlag. Dette er noe som kan gi blandede erfaringer med arbeidsmetoden, og føre til at mange av de andre utfordringene (som konservativ tankegang, kompetansemangel, osv) forsterkes. Vår anbefaling er derfor å ta et steg tilbake; sørg for at modelleringsgrunnlaget er godt, og bruk i starten 4D BIM på de litt enklere områdene. I det påfølgende kapittelet drøfter vi hva som er viktig for å kunne bruke 4D BIM på en god måte, samt hvordan dagens modellering er, og hvordan den kan bli bedre. Til slutt, i kapittel 6.4, diskuteres det vi anser som et egnet område å starte med 4D BIM, nemlig riggplanlegging.

6.3 Hvordan bør det modelleres for å tilrettelegge for bruk av 4D BIM?

Dette delkapittelet omhandler modellering. Det er delt inn i tre deler, der de to første tar for seg:

1. Hva er viktig for å bruke Synchro Pro til 4D BIM?
2. Hvordan svarer dagens BIM-krav til det som er viktig for å bruke Synchro Pro til 4D BIM?

Til slutt argumenterer vi for hvorfor dagens krav er tilstrekkelige, og forklarer hva som kan gjøres for å få prosjektaktører til å følge dem. På bakgrunn av dette har vi kommet frem til et svar på forskningsspørsmål 3: Hvordan bør det modelleres for å tilrettelegge for bruk av 4D BIM?

6.3.1 Hva er viktig for å bruke Synchro Pro til 4D BIM?

Uavhengig av hvor moden organisasjonen er, eller hvor flinke de modellerende er, så bør det å finne ut *hvordan* man ønsker å bruke 4D BIM prioriteres. Det er viktig å avklare dette så tidlig som mulig i prosjektet, og det kan gjerne spesifiseres av prosjekteier. Det bør være klart for alle prosjektdeltakere tidlig hva de faktisk skal levere, slik at alle vet hvilket detaljnivå både 3D-modellene og fremdriftsplanene skal være på, og til hvilken tid. Eksempler på dette kan være:

- Prosjekteier ønsker å bruke 4D BIM til å evaluere forskjellige rekkefølger på oppføring av bygg, for å vurdere hvilken byggemåte som passer best til hans ønsker: Detaljnivået i både planen og modellene trenger ikke å være høyt. Det holder med generiske BIM-objekter med lav modenhet (for eksempel MMI 100 - Skisse).
- Utførende entreprenør ønsker å bruke 4D BIM til utkikkspanlegging: Man er her avhengige av å ha objekter i modellen som med stor nøyaktighet gjenspeiler det som skal bygges, for å få oversikt over potensielle hindringer. For eksempel kan man simulere en komplisert løfteoperasjon, og da er det behov for nøyaktige mål på åpninger, ledig riggplass også videre. Derfor bør det stilles strengere krav til modenhet i dette tilfellet (forslag: MMI 400 - produksjonsunderlag).

Flere eksempler på beslutninger som prosjektledelsen kan ta når det gjelder detaljeringsnivå for 4D BIM er vist i tabell 7 i kapittel 4. Det kan potensielt være lite hensiktsmessig for entreprenøren å bruke en modell med lav detaljeringsgrad i det siste eksempelet, så det er viktig at dette bestemmes tidlig. Likevel, om det er slik at modellen er av lav detaljeringsgrad (for eksempel bare tomme rom i et bygg, ingen ytterlige detaljer), så er det fortsatt mulig å bruke 4D BIM. Man kan visualisere *hvor* arbeid pågår ved bruk av transparente bokser (workspaces), der ulike farger representerer forskjellige fag. På denne måten vil man kunne få en oversikt over byggeplassen på en annen måte enn et Gantt-diagram gir, og på denne måten også ta direkte hensyn til lokasjoner.

Når det kommer til å faktisk opprette en 4D BIM-modell, er det flere krav en bør stille til modelleringsgrunnlaget. I tabell 14 lister vi opp noen egenskaper som objektene i modellen bør ha for å effektivisere arbeidet med 4D BIM. Disse punktene utdypes i de påfølgende avsnittene.

Tabell 14: Hvilke beskrivelser av objekter i en BIM-modell er viktige, og hvorfor?

Objektbeskrivelser i en BIM-modell	Hvorfor er dette viktig?
Navn	Logiske navn gir leseren raskt forståelse for hva det er. Reduserer usikkerhet tilknyttet objektet.
Objektklassifikasjon	Med korrekt objektklassifisering vil sammenkobling av objekter med aktiviteter i fremdriftsplanen kunne gjennomføres med vesentlig redusert ressursbruk.
Lokasjon (etasje, sone, rom, etc.)	Gjør det enklere å koble sammen objekter til riktige aktiviteter. Spesielt nyttig der det er mye arbeid av én type fordelt ut over et stort område, der det skal gjennomføres i flere etapper.
Materialtype	Gir leseren oversikt over hva objektet er. Kombinerer godt med lokasjonsinformasjon.
Mengder	Mengdeinformasjon muliggjør mer avanserte funksjoner i Synchro Pro. Mindre viktig for grunnleggende bruk av 4D BIM.

Navngiving

Alle objekter bør ha en logisk og konsekvent navngiving, og dette er ikke noe som krever stor innsats av de prosjekterende. Det bringer med seg flere fordeler, det kan blant annet brukes til å opprette filtre for sortering av objekter og lage automatiske koblinger mellom objekter og aktiviteter. Likevel, er god navngiving, etter vår oppfatning, viktigst for at personene som arbeider med 4D BIM-modellen enkelt skal forstå hva objektet faktisk er. Ved å ha logiske navn på objekter, kan prosjektdeltakere raskt se hva objektet er og det vil da være enklere å få en helhetlig oversikt over modellen. Ved tilfeldig navngiving, kan det bli vanskelig å vite hva objektene faktisk skal representere, så en bør være bevisst på å redusere bruken av navn som «Basic Wall», der det lar seg gjøre. Navnene trenger ikke å være unike, men de må være forståelige. Vi anser det som *viktigere* at objekter eksporteres med korrekt og beskrivende objektklassifikasjon.

Korrekt objektklassifikasjon

Som vist i kapittel 5.3.2, så gjøres det ofte feil når objekter skal eksporteres til IFC-klasser. Noen objekter blir merket feil, andre legges inn i BIM-modellen uten noen form for klassifikasjon, mens i andre tilfeller merkes like objekter ulikt fra objekt til objekt (for eksempel i figur 21, der trappene i bygget var klassifisert ulikt). Det er klart at slik inkonsekvent merking kan føre til forvirring og misforståelser. I tilfeller som forskjellig merking av trapper i samme modell, bør alle innvendige trapper i henhold til NS 8360 klassifiseres som IfcStair og merkes med 281- Innvendige trapper for korrekt bruk. Når dette ikke gjøres, vil det potensielt bli problemer når aktiviteter kobles mot objekter i modellen, ved at sortering av objektene kompliseres. Slike situasjoner dukker opp flere steder i de undersøkte modellene, i tillegg til at det beskrives i litteraturen.

Det er likevel ikke sånn at det blir *umulig* å filtrere og behandle objekter med varierende objektmerking. Siden trappen fra forrige eksempel faktisk er merket med koden «281- Innvendige trapper», så vil den dukke opp om man filtrerer etter dette. Det er derimot sånn at om trappene i samme modell er merket forskjellig, vil det skapes en unødvendig usikkerhet. Man vil ikke nødvendigvis føle seg trygg på at opprettelsen av 4D-koblingene blir fullstendig, ettersom det kan være vanskelig å identifisere all relevant informasjon. Selv

med dårlig objektklassifisering er det fullt mulig å lage en god 4D-modell, men det vil være vesentlig mer ressurskrevende, enn om modelleringen er god. 4D BIM blir ofte omtalt som mer ressurskrevende når detaljnivået på planene øker. Noen går til og med så langt som å si at 4D BIM *ikke* lønner seg for bruk utover store, overordnede, eller langsiktige arbeider. Er dette fordi objektene i modellen er så dårlig klassifisert at sammenkoblingen mellom dem og aktiviteter i planen er krevende? Våre analyser tyder på at ressursbruken tilknyttet opprettelsen av 4D-modellen *vesentlig* kan reduseres dersom objektklassifiseringen er korrekt. Våre undersøkelser tyder altså på at den skepsisen til 4D BIM som baserer seg på at det er *for* ressurskrevende å opprette modellene ved høye detaljeringsgrader er overdreven, og deler av den bør heller adresseres til at selve modellunderlaget (3D-modellene) ikke er gode nok i disse tilfellene.

På store elementer som vegger, tak, og dekker er man mindre avhengig av god klassifisering. Slike elementer er ofte lette å koble manuelt, ettersom det kun er noen få objekter som skal sammenkobles med hver aktivitet. Dette kan være med på å forklare hvorfor 4D BIM hovedsaklig er brukt til slike oppgaver. Behovet for god modellering gjør seg spesielt bemerket innenfor fagfelt med mange, små detaljer. Tekniske fag skiller seg ut, da det ikke er uvanlig med flere tusen små elementer i 3D-modellene. I noen tilfeller er alle elementene modellert uten noen form for struktur eller klassifikasjon. Dette inviterer til store utfordringer, og mangedoblet tidsbruk for personellet som eventuelt skal sette opp en 4D-modell.

Det burde være mulig å redusere bruken av objektklassen «IfcBuildingElementProxy» betraktelig. Våre gjennomganger viser overdreven bruk av denne, for eksempel er over halvparten av objektene i 2. etasje merket med dette i figur 23. Med IFC er det mulig å være svært spesifikk i beskrivelsen av objekter. Det enkle eksempelet som ble presentert i kapittel 5.3.1, viser hvordan dekkeobjekter spesifiseres ved bruk av predefinerte typebeskrivelser. Hvordan dette kan gjøres på et stort antall objekter, er listet opp i en tabell i NS 8360 BIM-objekter, og det burde være mulig for de fleste prosjekterende å forholde seg til dette.

Lokasjonsinformasjon

For bruk av 4D BIM er informasjon om objektenes lokasjon fordelaktig.

Minimumskravet er etasjenummerering, som er noe både Statsbygg og EBA presiserer viktigheten av. Det bør ikke ha så mye å si om man bruker .name eller .longname, så lenge alle objekter bruker *samme* type nummerering gjennom prosjektet. Lokasjonsinformasjon burde heller ikke stoppe der, objekter kan også tilføres informasjon om hvilken sone, byggetrinn, eller område de er plassert i. På denne måten vil det potensielt gå enda raskere å filtrere objekter i modellen, og opprettelsen av 4D-modellen kan effektiviseres. Det bør også være mulig å koble objekter til det romobjektet de ligger innenfor, og slik kan man enkelt legge opp til en lokasjonsbasert sammenkobling av objekter i modellen og aktiviteter i fremdriftsplanen. Lokasjonsinformasjon er særdeles nyttig om man vil bruke 4D BIM, og et eksempel på hvordan dette kan kombineres med materialtype gis i det påfølgende avsnittet.

Materialinformasjon og mengder

At objekter har korrekt materialinformasjon er også til stor hjelp. I Synchro Pro kan man sortere og filtrere objekter etter materialtype, og dette kan være en fordel i flere situasjoner. Kombinert med lokasjonsinformasjon, kan man eksempelvis automatisk koble sammen stålarbeid i ulike soner med de korrekte aktivitetene i fremdriftsplanen. Sammen med logiske navn gir korrekt materialtype prosjektdeltakerne tydeligere oversikt

over hva objektene er og skal brukes til. Mengdebeskrivelser kan også gjøre nytte for seg i Synchro Pro, men vi anser ikke dette som nødvendig for grunnleggende bruk av programvaren. Med korrekte mengder er det mulig å planlegge aktivitetenes varighet, i tillegg til å planlegge bestilling av riktig mengde material til rett tid (for eksempel betong). Dette er strengt tatt ikke *nødvendig* for god bruk av 4D BIM, men det *kan* tilføre et prosjekt god verdi om man ønsker å bruke Synchro Pro til prosjektoppfølgning eller bestillingsplanlegging.

Utover dette, er det hjelpelig om de prosjekterende organiserer objektene med en logisk struktur, i definerte nivåer. Så lenge modellobjektene innehar de beskrivelser gitt i tabell 13 er dette ikke nødvendig, da det vil være mulig å filtrere objekter basert på informasjonen om dem. Det vil dog se mye ryddigere ut i objektreet, og planleggerne vil lettere kunne finne frem til, og få oversikt over, objektene. Alle disse egenskapene bidrar i seg selv til å gjøre 4D-prosessen enklere, og det er strengt tatt ikke nødvendig at BIM-objekter innehar *all* den overnevnte informasjonen. Det er likevel slik at dersom objektene faktisk har alle de overnevnte beskrivelsene, så er 4D-sammenkoblingen en relativt enkel prosess. Informasjonen *fungerer* hver for seg, men ved å tilføre flere ulike typer informasjon, blir prosessen 4D BIM vesentlig enklere og man får mer fleksibilitet i arbeidsprosessene.

6.3.2 Hvordan svarer dagens krav til dette?

Det er altså en rekke modelleringskriterier som bør oppfylles for effektiv bruk av 4D BIM, og foruten noen få, så omhandler de fleste objektbeskrivelser. I denne delen vurderes det til hvilken grad dagens generelle BIM-krav og -anbefalinger er egnet for å modellere etter punktene diskutert i kapittel 6.3.1. Overordnet svarer dagens krav godt til det som behøves for bruk av 4D BIM, men det er noen steder kravene kunne, eller burde, vært utdypet. Det er likevel slik at om eksisterende krav blir fulgt, vil det være betydelig mindre ressurskrevende å ta i bruk 4D BIM enn det mange opplever i dag. En oversikt over hvordan kravene svarer til viktige objektbeskrivelser er vist i tabell 15, før hvert punkt utdypes i påfølgende avsnitt.

Tabell 15: Hvordan svarer dagens krav til de viktige egenskapene objekter bør ha?

Objektbeskrivelser i en BIM-modell	Hvordan behandler dagens krav dette?
Navn	Det stilles krav til korrekt og logisk navngiving både fra Statsbygg, EBA, og i NS 8351 Byggetegninger.
Objektklassifisering	Krav til at objekter eksporteres til IFC med korrekt klassifisering ihht. SIMBA 2.0, det bør gjøres etter NS 8360.
Lokasjon (etasje, sone, rom, etc.)	Krav fra både EBAs BIM-manual og i SIMBA 2.0 om etasjenummerering av objekter, og rett bruk av romobjekter. Ingen eksplisitte krav om ytterligere lokasjonsinformasjon.
Materialtype	Ihht. EBAs BIM-manual skal alle elementer i modellen være definert med riktige materialtyper.
Mengder	EBAs BIM-manual sier også at modellobjektene skal ha riktige mengder ihht. avtalt detaljeringsgrad.

Navngiving

Krav til korrekt og logisk navngiving av objekter er tydelige flere steder, blant annet fra Statsbygg, EBA og i NS 8360. Kravene til navngiving er enkle og tydelige, og de anses som mer enn gode nok for bruk av 4D BIM. Det som *kunne* vært med på å gjøre det enda enklere, hadde vært enda større grad av standardisering. Nå velger prosjektdeltakerne mellom ulike oppsett, til hvert enkelt prosjekt. Hvis det hadde vært ett felles oppsett som hadde blitt benyttet *hver gang, og på alle prosjekter*, så kunne det ført til mindre usikkerhet og at kravene i større grad hadde blitt fulgt. Dette er i utgangspunktet ikke noe problem, så lenge samme metode blir brukt gjennom hele prosjektet, men kun noe som ville gjort kravene enda tydeligere. Likevel burde ikke flere muligheter være en begrensning, så lenge valg av navneoppsett kommuniseres tidlig og tydelig til alle involverte.

Objektklassifisering

På Statsbyggs prosjekter stilles det krav til at objekter eksporteres til IFC med korrekt klassifisering. For eksempel bør eksport av objekttyper gjøres etter NS 8360 BIM-objekter, hvor det også gis en oversikt over riktig tilhørende objekttypenavn. Kravene sier også at `IfcBuildingElementProxy` ikke skal brukes, med mindre det er absolutt nødvendig. Det virker som denne brukes i alt for stor grad, og dette er noe som burde tas tak i. Det er forståelig at objekter litt utenom det vanlige eksporteres som dette, men funnene fra eksperimentene tyder på at denne «diverse»-klassen blir brukt som en snarvei, og det bør unngås. I de tilfellene objekter eksporteres som `IfcBuildingElementProxy`, så bør de merkes godt med logiske navn, og dette er noe som *må* presiseres for prosjekterende tidlig. Det er også sett eksempler på at elementer er kategorisert helt feil, for eksempel at isolasjon er lagt inn som betong, eller at en stålsøyle står beskrevet som et fundament.

Lokasjonsinformasjon

Det er krav om lokasjonsinformasjon fra både EBA og Statsbygg. EBA har som et absolutt krav at alle objekter er merket med korrekt etasje, og Statsbygg har veiledninger for hvordan etasjenummerering skal gjøres. Det er også krav til bruk av romobjekter fra begge aktørene. Det er ingen eksplisitte krav til merking av soner, byggetrinn eller lignende. Informasjon om dette kan være nyttig for bruk av 4D BIM, ved at man da enklere kan filtrere objekter og koble dem til korrekte aktiviteter. Om man ønsker å tilrettelegge for en mer lokasjonsbasert planleggingsprosess, burde data om plassering også tilføres objekter. Dette er riktignok noe som kan tilpasses hvert prosjekt, og bør være et tema i oppstartsmøter.

Materialtype og mengder

I EBA sin BIM-manual er det skrevet at objektene skal få både riktige mengder og korrekte materialer i modellen. I SIMBA 2.0 står det ikke noe om dette direkte, men det stilles krav til at prosjekter bør ta i bruk prosessstatuskoder (for eksempel MMI) for å holde kontroll over modellens modenhet. Kravene svarer altså godt til det som behøves for bruk av 4D BIM på bransjens nåværende nivå.

6.3.3 Dagens krav og anbefalinger er tilstrekkelige

Dagens krav svarer godt til det som kreves for bruk av 4D BIM. Målet bør da ikke være å utdype kravene ytterligere, eller lage dem på nytt, men heller sørge for at de blir fulgt. Det kan virke som de virkelige utfordringene tilknyttet dette, er mangel på både kunnskap og vilje. Er alle de prosjekterende klar over at det de gjør er feil? Eventuelt, er de klar over at feilene de gjør har stor påvirkning for videre bruk av BIM-modellen? Hvis de er klar over det, bryr de seg?

I kapittel 5.3.2 la vi frem noen vanlige feil, og en av dem var problemet der betongtrapper blir eksportert som flere lag med dekker. I slike tilfeller kan det være at arkitekten ikke er klar over at dette kan bli et problem senere: Geometrien er korrekt, og trappen er merket med korrekt navn i henhold til NS 8351 Byggetegninger. Hvis det heller ikke er kommunisert at man ønsker å bruke 4D BIM (eller forklart i ambisjonsnivåer for BIM) på prosjektet, kan det tenkes at arkitekten heller ikke ser behovet for å eksportere det skikkelig.

Modellering og teknisk tegning kan være nytt for mange, og det er ikke alle som lærer seg arbeidsmetoder i samme hastighet som andre. På bakgrunn av dette er det forståelig at det tidvis oppstår feil i modeller og ufullstendig merking av objekter, spesielt når man jobber med tidspress. Allikevel anser vi ikke kompetansmangel som god nok grunn til å gjøre enkle feil, slik som å eksportere objekter som feil type. NS 8360 BIM-objekter har en god oversikt over hva slags klassifikasjon ulike objekter skal eksporteres med, og dette bør være mulig å følge. Ut over det, bør bedrifter tenke langsiktig og sette av tid til opplæring av sine ansatte, selv om det kan hindre inntjening på kort sikt. Dette er i tråd med Lean-tankegang, og kan styrke fundamentet til en bedrift. Etterhvert som prosjektdeltakere får mer og mer erfaring med både BIM og 4D BIM, bør det strebes etter kontinuerlig forbedring og videreutvikling av både arbeidsmetoder og rutiner.

Tidlig oppstartsmøte

Det er mange potensielle grunner til at modelleringen blir av dårlig kvalitet. Et tidlig oppstartsmøte med de prosjekterende kan dog løse mye. Dette anbefales av EBA, og vi tror oppstartsmøter kan ha *stor* effekt på hvordan man jobber med BIM gjennom et prosjekt. I slike møter kan man gi informasjon og fordele ansvar, og på den måten unngå grensesnittkonflikter senere i prosjektet. Man bør også kommunisere *hvordan* og *hvorfor* 4D BIM skal brukes. På denne måten kan prosjektdeltakere som ikke tidligere har forstått konsekvensene av slurvete modellering, få vite om det, og informasjon om hva arbeidet deres skal brukes til kan gi den enkelte mer eierskap til modellen.

Kunden, eller byggherren, bør også være klar over hvilket ambisjonsnivå de ønsker for 4D BIM. Utsagn som «på dette prosjektet skal det brukes 4D BIM» er vage og uklare, og kan gjøre mer skade enn nytte. Hvis kundens ønsker er klare, tydelige og nedfelt i kravspesifikasjonene, kan prosjekteringslederen kommunisere dette tydelig til resten av de prosjekterende i oppstartsmøtet. I et prosjekt er det ofte prosjekterende fra forskjellige bedrifter, som har ulik erfaring med BIM. Det kan da oppstå store forskjeller på kvaliteten i de respektive modellene. Dette kan, som nevnt tidligere, føre til en rotete modell med ulik kvalitet og modenhet på objektene. Oppstartsmøter kan bidra til å jevne ut forskjellene og sikre et bedre grunnlag for alle involverte. Det man, i oppstartsmøtene, kommer frem til at de forskjellige aktørene skal levere, burde også avtales og dokumenteres. Da er det mulig å kreve at de leverer etter avtalen, dersom det oppdages slurv i løpet av prosjektet. Slike møter binder opp ressurser tidligere enn bedrifter er vant til, men resultatet av møtet kan gi store kostnadsbesparelser for alle gjennom hele prosjektet.

Slik modelleringen er i dag, ser det ut til å være mye «nesten», ved at kravene følges til en viss grad. Dette bidrar til å skape forvirring og uklarhet tilknyttet objektene, som igjen bidrar negativt for bruk av 4D BIM. Det er noen steder nye anbefalinger kunne vært nyttig (for eksempel ytterligere krav til lokasjonsinformasjon). Hvis kravene blir fulgt, vil bruk av 4D BIM være mye mindre ressurskrevende enn det ser ut til å være i dag. God modellering vil heller ikke bare hjelpe i forbindelse med 4D BIM, men også til vanlig bruk av BIM. En god modell, med riktig informasjon til rett tid, kan ha stor verdi gjennom et byggs livsløp, fra vugge til grav.

For å tilrettelegge for bruk av 4D BIM er det altså *ikke* nødvendig med nye modelleringskrav, og om dagens anbefalinger følges, vil man ha et veldig godt utgangspunkt for bruk av arbeidsmetoden. For å sørge for at alle de prosjekterende modellerer korrekt, bør det alltid være et tidlig oppstartsmøte med alle involverte. Her kan man kommunisere og kontraktsfeste ambisjonsnivået og detaljeringsgraden for BIM gjennom prosjektet. Samtlige vil da være klar over *hva* som skal leveres, *når* det skal leveres, og *hvem* som er ansvarlig for å levere det.

6.4 Hvordan kan 4D BIM brukes til riggplanlegging?

I kapittel 5.4 ble det vist hvordan ulike funksjoner i Synchro Pro kan brukes til diverse områder innen riggplanlegging. Vi mener at man kan bedre selve *planleggingen* av riggens utvikling, samt gjøre den mer helhetlig, ved å benytte 4D BIM, dersom man behersker programvaren og de aktuelle funksjonene. De tidligere presenterte løsningene blir diskutert i kapittel 6.4.1. Når man planlegger riggplassen i 4D, resulterer det i at man får en 3D-modell av riggplassen slik den er planlagt til enhver tid. Denne 4D-modellen har potensielt en rekke nytteverdier og bruksområder utover selve planleggingsaspekter, blant annet fremvisning og kommunikasjon av planen. Slike effekter og bruksområder drøftes i kapittel 6.4.2.

6.4.1 Erfaringer tilknyttet tidligere presenterte løsninger på ulike aspekter

I denne delen diskuterer vi de presenterte funksjonene, med hensyn til blant annet bruksområder, kompleksitet og hva de kan tilføre prosjekter. Mulighetene som vurderes, er de samme som tidligere, altså det å:

1. Importere et kartbilde og plassere kartet i henhold til modellen
2. Importere og plassere midlertidige objekter
3. Modellere enkle objekter direkte i programvaren
4. Tilegne bevegelser til maskiner og utstyr
5. Vurdere alternative gjennomføringer

Importere kart og plassere prosjektet i kartet

Det er ikke alltid man utarbeider en 3D-modell av området rundt byggeplassen, og da er bruk av funksjonen Textured Plane en veldig rask og enkel måte for å visualisere plasseringen av prosjektet i kartet. Som man kan se av figur 24, gjør denne enkle funksjonen at man raskt får et forhold til omliggende bygninger, veier etc. Dermed blir det tydeligere for alle, og enklere å forstå, hvilke områder man snakker om til enhver tid, selv om disse områdene ligger utenfor det som er modellert på prosjektet. Dette forbedrer planlegging og formidling av adkomstveier, samt plassering av innkjøring og navigering på riggplassen. Hvis man i tillegg kombinerer dette med å opprette en 3D Path på anleggsveien, blir samhandlingen mellom maskiner og annen trafikk (for eksempel personelltrafikk) enda tydeligere. Dette kan sees av de utførende og diverse leverandører før ankomst på byggeplassen (enten om man lager en animasjonsfilm i programvaren, eller om de benytter Synchro Open Viewer for å se riggplanen). Vi mener dette vil føre til færre misforståelser, da planen blir tydeliggjort, og enkel å kommunisere.

Importere og plassere midlertidige objekter

Riggplanlegging handler i stor grad om utplassering av midlertidige objekter på byggeplassen/riggområdet. Dette kan være objekter eller maskiner som er forhåndsprodusert på utsiden, eller provisoriske anordninger som settes sammen på byggeplassen. I Synchro Pro er selve importeringen av slike modeller relativt enkel, og ettersom man kan importere fra hele 58 ulike formater har man god fleksibilitet når man leter etter modeller. Ved import av disse objektmodellene, kan man velge å importere de som kun 3D-objekter, eller også opprette de som ressurser i programvaren. Hvis man ønsker å tilegne de tidsinformasjon, må de først defineres som ressurser. Vi anbefaler å opprette hele modellen som én felles ressurs hvis alle bestanddelene skal kobles til samme aktivitet, som ofte er tilfelle med modeller av utstyr og maskiner.

Når man tilegner tidsinformasjon, må man gjøre et valg for *når*, i tillegg til hvor, objektet skal være på prosjektet. På denne måten kan man enkelt utføre visuelle kontroller og oppdage svakheter i planene: For eksempel kan man oppdage at arbeider på fasaden er planlagt å påbegynne *før* stillaset er satt opp. Man får en oversikt over hvilke områder som er tilgjengelige/opptatt til enhver tid. Dette er nyttig både for planlegging og fremvisning i møter. For eksempel i avklaringsmøter med underentreprenører vil de være veldig interessert i hvilke områder de kan benytte seg av for lagring av utstyr og materialer. Med en 4D riggplan kan man da spole seg frem til det aktuelle tidspunktet og ha en oppdatert 3D-modell av riggplassen på det aktuelle tidspunktet.

Modellere enkle objekter direkte i programvaren

Selv om Synchro Pro kan importere fra en rekke filformater, er det ikke alltid man finner de objektene man ønsker. For å ha ytterligere fleksibilitet, er det derfor en stor fordel at man også har mulighet til å modellere direkte i Synchro Pro. Den geometriske modelleringsfunksjonen er dog veldig begrenset. Man kan kun modellere simple former, og man har ikke mulighet til å bestemme dimensjoner ved opprettelse. Det finnes allikevel flere måter å løse dette på, men dette burde absolutt ikke være nødvendig. Dette er derfor noe vi mener burde forbedres til neste versjon av programvaren. Selv om modelleringen i programvaren ikke er så nøyaktig, kan den være veldig nyttig for visualiseringsformål. Dette gjelder i utgangspunktet for alle elementer hvor den geometriske presisjonen ikke spiller en sentral rolle. Hvis man for eksempel modellerer en avfallscontainer på et sted det er relativt god plass (som i figur 25), er formålet gjerne planlegging og kommunisering av plasseringen, fremfor å vurdere hvorvidt det er plass eller ei. I slike tilfeller spiller det derfor liten rolle om containeren har eksakt korrekte dimensjoner, og modelleringsfunksjonen er tilstrekkelig til dette formålet.

Tilegne bevegelser til maskiner og utstyr

I Synchro Pro tilegnes bevegelser ved å benytte funksjonen 3D Path. Dette gjør at man blant annet kan planlegge (og formidle) transportruter, vareleveranser, arbeidsretninger og lignende. Funksjonen kan være litt utfordrende å få til i begynnelsen, spesielt ved modellering av komplekse bevegelser, og det kan være greit å følge veiledningene nøye frem til man har fått grep om det. Likevel er funksjonen ganske enkel så lenge det er snakk om «enkle» bevegelser, og etter litt arbeid går det ganske greit med de mer avanserte bevegelsene også. Ved å legge til en maskin i modellen, kan man visualisere dens plassering, og ved å koble maskinen til en 3D Path kan man også simulere dens bevegelser utover i prosjektet.

Det kan tenkes at dette ikke nødvendigvis tilfører så mye verdi til prosjektet, spesielt da det kan være tidkrevende. Et eksempel på hvordan dette likevel kan gi nytte illustreres videre: Ved å plassere en gravemaskin på byggets fotatrykk under grave-/grunnarbeidene vil man se at det er en gravemaskin på området så lenge denne aktiviteten pågår. Hvis man i tillegg tilegner gravemaskinen bevegelser, blir det veldig tydelig eksakt hvor den arbeider til enhver tid. Dette gjør at man kan fremheve blant annet hvor og når det vil være koordineringsbehov med andre maskiner, arbeidere eller lignende. Man tydeliggjør også maskinens arbeidsretning, og det kan gjøre det enklere å oppdage mulige forbedringer til fremdriftsplanen. Hvis betongarbeidene ifølge fremdriftsplanen skal påbegynne når gravearbeidene er ferdig, med en FS0 avhengighet, svarer det i utgangspunktet til 0 slakk/flyt mellom aktivitetene. Når man kobler en gravemaskin til graveaktiviteten, og definerer at denne skal bevege seg sammen med utgravingen fra vest mot øst, vil man enkelt oppdage at

graveren etter kort tid er ferdig på vestsiden, se eksempler i figur 12 og figur 29. Dette kan åpne muligheter for at betongarbeidene kan påbegynne i disse områdene tidligere enn først planlagt. Et banalt eksempel, men det viser hvordan planlegging i 4D kan supplere aktivitetsbaserte metoder. Mange stiller seg kritisk til aktivitetsbasert planlegging, på grunn av at den ikke hensyntar lokasjoner i form av tid/sted slik lokasjonsbasert planlegging gjør, og 4D BIM kan, til en viss grad, kompensere for dette.

Vurdere alternative gjennomføringer

Ved å benytte funksjonen Baselines, kan man vurdere ulike gjennomføringer. Man tar utgangspunkt i en plan, man kan endre hva man vil med denne (type utstyr, plasseringer, varigheter, rekkefølger osv.) og senere sammenligne de ulike variantene. Ofte vurderer man flere varianter opp mot hverandre og man er nødt til å se disse for seg i hodet. Baselines gjør at man slipper å forestille seg ulikhetene, men lar planleggeren faktisk visualisere dem. Tilknyttet riggplanlegging appellerer dette til mange av planleggingsnivåene; helt fra beslutninger som får langvarige konsekvenser slik som plassering av brakkerigg, tårnkran eller anleggsveier, og ned til detaljplanlegging av for eksempel en vareleveranse for å kontrollere at HMS-en er tilfredsstillende, og at det er tilrettelagt for å unngå menneske/maskin-konflikter. Selve utførelsen av funksjonen følger noen enkle steg og er ikke særlig tidkrevende. Det som *kan* være tidkrevende er at man må modellere opp begge de alternative gjennomføringene, og den ene vil på et tidspunkt forkastes, og i så måte kan det kalles for unødvendig arbeid, eller sløsing i henhold til Lean. Allikevel mener vi dette er en svært nyttig funksjon ved at man relativt hurtig utarbeider et bedre beslutningsgrunnlag. For at man ikke skal «kaste bort» mye tid med denne funksjonen, burde den brukes kun når man er usikker på hvilken gjennomføring som vil være best. Baselines er ypperlig å bruke hvis man ønsker å foreta konsekvensutredninger av endringer i en plan, både hva gjelder riggplanlegging, men også generell fremdriftsplanlegging.

6.4.2 Effekter og bruksområder av en riggplan utarbeidet med 4D BIM

Når man benytter en 4D-modell i riggplanleggingen, fører det med seg mange muligheter, også for bruk av modellen utover i gjennomføringsfasen. Dette gjelder blant annet som fremvisninger og som grunnlag for videre planlegging. Dette delkapittelet tar for seg noen effekter og bruksområder av planen som er opprettet.

Fremvisning

Når det er benyttet 4D BIM til riggplanlegging, er det lett å formidle planen ved å ha en avspilling av det aktuelle tidsforløpet. En slik fremvisning kan være nyttig i en rekke tilfeller, blant annet:

- Til ulike interessenter som kommune og naboer for å enklere få byggegodkjenning.
- For å vinne anbud: Rigg og drift er en vesentlig post av et anbud, som også vektlegges av utlyser. En 4D riggplan kan oppfattes mer imponerende og proff enn tradisjonelle 2D tegninger, og kan gi et fortrinn. Det kan også være med å overbevise om en gitt gjennomføring.
- I avklaringsmøter med (under)entreprenører: Tilbyder vil alltid være interessert i hvordan riggen ser ut når han involverer seg i prosjektet. Når man har en 4D riggplan kan man spole seg frem til dette tidspunktet og raskt fremvise riggens utvikling over denne tidsperioden.
- I fremdriftsmøter kan planen tas frem for å vise de planlagte endringene som skal skje fremover, hvis det er koordineringsbehov eller lignende.
- I vernemøter kan den vises ettersom mange av riggobjektene utgjør potensielle farer.

Enkelt å opprette selve riggplanen som fremvises på prosjektet

På prosjekter skal det alltid være en riggplan som viser plassering av diverse riggelementer som verneutstyr, møteplasser ved evakuering, avfallsstasjoner og så videre. Tradisjonelt innebærer det et 2D-bilde hvor de ulike elementene er lagt til. Når man har benyttet Synchro Pro i planleggingen, har man i prinsippet allerede laget dette, men i et 4D-format. Hvis man ønsker å ha en riggplan som kun viser riggobjekter, kan man for eksempel tilegne disse elementene et brukerfelt, for eksempel «rigg», og lage et 3D-filter eller et oppsett, en Layout, som baserer seg på dette brukerfeltet. Visningen kan for eksempel være definert slik at kun riggobjekter, byggets fotavtrykk og omliggende infrastruktur vises med en gitt kameravinkel når dette filteret er aktivert. Slik kan man få oppdaterte stillbilder som egner seg som en todimensjonal riggplan (man kan også legge til kommentarer, revisjonsskyer og filtre til bildene hvis ønskelig). Det kan like gjerne være aktuelt å beholde planen i 4D, ettersom det kan være enklere å kommunisere og forstå.

Enkelt å holde riggplanen oppdatert

Prosjekter er et verktøy for endring, og riggplassen på et byggeprosjekt endrer seg ofte (nærmest kontinuerlig) gjennom et prosjekt. Ved å benytte 4D BIM i planleggingen vil man enkelt kunne se hvordan byggeplassen utvikler seg gjennom prosjektet. Det er også mulig å hente ut stillbilder fra de ulike tidspunktene ved å lagre et bilde av 3D-visningen til de gitte tidene. Dette gjør arbeidet med å holde riggplanen oppdatert veldig enkelt, så lenge det som er planlagt følges. Ved avvik fra planen, for eksempel ved utsettelser eller forsinkelser, kan dette oppdateres enkelt ved å endre tidspunktene eller varighetene til aktivitetene som utstyret er koblet til. Når Synchro Pro har blitt brukt til riggplanlegging, har man i prinsippet utarbeidet riggplanen for ethvert gitt tidspunkt. Dette fordi at man kan flytte fokustiden i programvaren, og oppdateringene går automatisk.

Gir rask forståelse av riggen

Byggeprosjekter har ofte mange ulike involverte til forskjellige tider. Når nye personer blir registrert inn på byggeplassen, skal de også gjøre seg kjent med riggplanen, hva gjelder plassering av HMS-utstyr, møteplasser og lignende. 4D BIM gir mulighet for å fremvise planen til nytt personell med animasjoner av byggeplassens utvikling over deres aktuelle tidsperspektiv. Slike animasjoner vil gi rask forståelse av riggplanen, og egner seg godt når man introduserer byggeplassen for nytt personell.

HMS-planlegging

Riggplanen viser mange av faremomentene på en byggeplass, og vil derfor være nyttig som grunnlag for planlegging av sikkerhetstiltak. 4D-modellen kan gjøre at man oppdager situasjoner som for eksempel at en vareleveranse ankommer til en losseplass som ligger *under* der det foregår fasadearbeider. I slike tilfeller kan modelleringen av leveransen fremheve potensielle faremomenter. 4D-modellen kan her bidra til at slike risikoer oppdages og løses proaktivt, ved å for eksempel planlegge en alternativ plassering for lossing i det gitte tidsrommet.

Inngangsbillett til videre bruk

For en fullstendig overgang til bruk av 4D BIM, kan man argumentere for at det omfattende endringer i både arbeidsprosesser og kompetanse i en bedrift. Sammen med at gevinstene er vanskelige å måle i monetære enheter, er mange ofte nølende. Tidligere har vi presentert en del funksjoner som egner seg for

riggplanlegging. Mange av disse funksjonene er relativt enkle å beherske, og egner seg som en introduksjon til programvaren for nytt personell, samtidig som vi mener funksjonene gir verdi. Det å bruke 4D BIM til riggplanlegging og formidling stiller også få eller ingen krav til modelleringen ettersom man kan importere og bruke generiske modeller av utstyr/objekter. Vi ser på dette som et område hvor man kan hente ut flere gevinster uten at det krever særlig mye ressurser, og vi ser på riggplanlegging som et fornuftig sted å begynne med 4D BIM for en bedrift. Derfra kan man opparbeide seg erfaringer og kompetanse som ligger til grunn for å vurdere videre implementering.

7 Konklusjon

4D BIM er en arbeidsmåte som knytter sammen 3D-modeller med fremdriftsplaner og muliggjør simuleringer av byggeplassens planlagte utvikling. Denne oppgaven har undersøkt hva 4D BIM kan tilføre byggeprosessen, og problemstillingen som har ligget til grunn for arbeidet er *Hvordan kan man gå frem for å løse utfordringer, og realisere muligheter, tilknyttet 4D BIM i byggebransjen*. For å undersøke problemstillingen, er det definert fire forskningsspørsmål. Disse, sammen med noen sentrale funn, er vist i tabell 16.

Tabell 16: Oversikt over sentrale funn til de ulike forskningsspørsmålene

Forskningsspørsmål	Sentrale funn
Hva er mulighetene ved å bruke 4D BIM?	Visualisering av fremdriftsplaner gjør at man kan utarbeide mer robuste planer som også kan kommuniseres mer effektivt
Hvilke utfordringer er tilknyttet 4D BIM?	Implementering og bruk anses for å være ressurskrevende, og sammen med udefinerte kostnadsbesparelser gjør det at mange er skeptiske
Hvordan bør det modelleres for å tilrettelegge for bruk av 4D BIM?	Logisk navngiving, korrekt klassifikasjon, lokasjonsinformasjon, samt data om materialer og mengder er spesielt viktige objektparametere
Hvordan kan 4D BIM brukes til riggplanlegging?	Man kan plassere ut midlertidig utstyr, maskiner, anleggsvæier o.l. og få en modellbasert riggplan som oppdaterer seg automatisk.

4D BIM åpner opp for mange muligheter, og de fleste kommer av at det åpner opp for å visualisere fremdriftsplaner. Mange aktører i byggebransjen streber etter å øke produktiviteten ved å være mer Lean, og 4D BIM har vist seg å kunne være en bidragsyter for å oppnå dette. 4D BIM gjør at man kan kontrollere planene visuelt før man starter å bygge. Dermed kan man identifisere og eliminere blant annet dårlig planlagte sekvenser, arbeidsmetoder, eller hindringer som kan forsinke produksjonen. Raskere og mer nøyaktig kommunikasjon av planene vil bedre samspeillet mellom de ulike aktørene, samt bidra til mindre feilproduksjon.

På tross av mulighetene, går implementeringen av 4D BIM tregt i Norge. Utfordringene er flere, og det virker som bransjen ikke helt har funnet ut hvordan arbeidsmetoden skal implementeres for å gi best utbytte. Bruk av 4D BIM krever nemlig at man investerer en del ressurser i blant annet utstyr og kompetanse, samt at man potensielt må omlegge deler av bedriftens praksis. Utfordringene er mange, men ikke uoverkommelige. Det stiller dog krav til at en langsiktig tankegang ligger til grunn, fremfor fokus på kortsiktig profitt.

Egnede 3D-modeller er essensielt for å få til en god 4D-prosess. Dagens modelleringskrav for generell BIM er blitt undersøkt, og analysene tilsier at kravene er tilstrekkelige, også for bruk til 4D BIM. Problemet ser ut til å knytte seg til det faktum at disse ikke følges i stor nok grad. Det er viktig at de modellerende gjøres oppmerksomme på hva de skal levere, og hvorfor det er viktig. For å bøte på dette, mener vi at tidlige og tydelige avklaringer med de prosjektinvolverte er viktig. For å tilrettelegge for bruk av 4D BIM er det altså *ikke* nødvendig med nye eller oppdaterte krav, men de prosjekterende må følge dagens krav.

Det at man kan utplassere midlertidige objekter, samt tilegne de bevegelser, gir realistiske simuleringer av riggplassens planlagte utvikling. Man får en riggplan-modell som oppdaterer seg automatisk, er intuitiv å forstå, samtidig som den tydeliggjør hvilke områder som er tilgjengelige til en hver tid. Bruk av 4D BIM til riggplanlegging kan bidra til å gjøre prosjekter ryddigere, tryggere og mer Lean.

8 Videre arbeid

Vi har sett spesielt på hva som kreves av 3D-modeller for at de skal være egnet til å bruke som grunnlaget for 4D-modellering, altså selve modelleringsfundamentet. Byggeprosjekter preges av forandringer underveis, og objekter i modellen både endres og har varierende detaljeringsgrad til ulike tider. For videre arbeid er det relevant å se på hvordan man bør modellere når man øker detaljeringsgraden eller *endrer* elementer, for at det skal være kompatibelt med overgangen til 4D BIM. Altså er det aktuelt å utarbeide gode rutiner for automatisk / enklest mulig synkronisering av endringer som blir gjort i eksterne modelleringsprogrammer, eller fremdriftsplanene, for at man skal inkorporere endringene samtidig som man beholder koblingene som er gjort. Videre tror vi også at en studie av oppbyggingen av fremdriftsplaner er fornuftig, altså hvordan navngiving og struktur i disse kan påvirke prosessen med å opprette en 4D BIM-modell.

Det ser ut til at det er gjennomført få helhetlige 4D BIM-prosjekter som har tatt sikte på å bruke arbeidsmetoden i alle prosjektets faser og planleggingsnivåer. Et aktuelt tema for videre forskning, er derfor å teste 4D BIM fra start til slutt i et prosjekt, for å se hvilke resultater dette gir. For slik testing tror vi det er meget viktig med veldefinerte modellkrav og tydelig ansvarsfordelinger for å få til en god prosess.

Synchro er en 4D-plattform som er utarbeidet for å kunne planlegge og styre prosjekter i et helhetlig 4D-miljø. Vi har kun sett på bruk av selve modelleringsmodulen; Synchro Pro. Videre er det interessant å vurdere de andre modulene, samt hvordan disse fungerer sammen. Blant annet høster Synchro Scheduler, modulen for fremdriftsplanlegging, mange positive tilbakemeldinger, og Synchro Site kan brukes for å avstemme fremdrift ute i felt. Synchro Pro tilbyr også mange funksjoner utover de som har blitt undersøkt i denne masteroppgaven, blant annet tilknyttet kostnadsplanlegging og -oppfølging (5D). Ved å tilføre tidsaspektet til modellene (4D), vil overgangen til 5D bli betraktelig enklere. Vi tror at mange av de som er skeptiske til digitalisering virkelig vil se potensialet hvis de introduseres for 5D, ettersom dette kan erstatte og effektivisere mange av dagens arbeidsprosesser. For å få til dette, er det likevel naturlig at man først utarbeider en god 4D-prosess.

Referanser

- Aggarwal, N., Dai, Q. & Walden, E. A. (2006), 'Do Markets Prefer Open or Proprietary Standards for XML Standardization? An Event Study', *International Journal of Electronic Commerce* **11**(1), 117–136.
- Akin, O. (2011), *Embedded Commissioning of Building Systems*, Artech House.
- Arbeidstilsynet (n.d.), 'HMS'. Hentet 10.06.2020.
URL: <https://www.arbeidstilsynet.no/hms/>
- Ballard, G., Koskela, L., Howell, G. & Zabelle, T. (2001), 'Production system design in construction'.
- Ballard, H. G. (2000), *The Last Planner System of Production Control*, PhD, The University of Birmingham.
- Barreth, M. (n.d.), 'Industrialisert Bygging'. Hentet 02.03.2019.
URL: <http://veidekke.no/incoming/article26274.ece/binary/Industrialisert%20bygging.pdf>
- Bertelsen, S. (2004), 'Lean Construction: Where are we and how to proceed?', *Lean Construction Journal* **1**, 24.
- Bhatla, A. & Leite, F. (2012), 'Integration framework of BIM with the Last Planner System', *the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Bjørnstad, J. E., Bjørhusdal, L. J. & Westerlund, V. L. (2019), 4D-verktøy i den norske byggebransjen, Bacheloroppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- Blenkinsop, P. (2020), 'EU lawmakers, with eye on Apple, call for common mobile charger', *Reuters*. Hentet 26.02.2020.
URL: <https://www.reuters.com/article/us-eu-regulations-chargers-idUSKBN1ZT1VV>
- BNL (2017), Digitalt veikart for bygg-, anleggs- og eiendomsnæringen for økt bærekraft og verdiskapning, rapport.
- Bogen, T. H. (2018), BIM 4D – Prosjektstyring og Visualisering, Masteroppgave, Universitetet i Tromsø, Oslo.
- Brekkehus, A. (2019), 'BIM-landet Norge'. Hentet 25.03.2020.
URL: <http://www.bygg.no/article/1412487>
- Brodshaug, M. (2019), 'Finne kilder'. Hentet 26.09.2019.
URL: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder>
- Bråthen, K. & Moland, L. E. (2015), Samhandling med BIM og Lean i detaljprosjekteringsfasen på Urbyggingen ved NMBU, rapport, Fafo, Oslo.
- buildingSMART (2019), 'Hva er åpenBIM?'. Hentet 02.06.2020.
URL: <https://buildingsmart.no/hva-er-%C3%A5penbim>
- buildingSMART (2020), 'IFCSHAREDBLDGELEMENTS'. Hentet 07.04.2020.
URL: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/FINAL/HTML/ifcsharedbldgelements/ifcsharedbldgelements.htm>

- buildingSMART (n.d.), 'Industry Foundation Classes (IFC)'. Hentet: 07.04.2020.
URL: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>
- Butkovic, B., Heesom, D. & Oloke, D. (2019), 'The need for multi-LOD 4D simulations in construction projects', *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* **24**(14), 256–272.
- Byggeindustrien (2016), 'Veidekke velger 4D'. Hentet 12.12.2019.
URL: <http://www.bygg.no/article/1298406>
- Byrne, C. (2018), 'Bentley Systems Acquires Sychro Software, Leader in 4D Construction Modeling for Scheduling and Project Management'. Hentet 17.04.2020.
URL: <https://www.bentley.com/en/about-us/news/2018/june/20/synchro-acquisition>
- Bystrom, L. (2012), BSN Prosess 5 - Bruk av BIM til fremdrift og ressursstyring (4D), teknisk rapport, buildingSMART.
URL: https://buildingsmart.no/sites/buildingsmart.no/files/bsnp_5_ressursstyring_og_fremdrift_v0.5.pdf
- Charef, R., Alaka, H. & Emmitt, S. (2018), 'Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views', *Journal of Building Engineering* **19**, 242–257.
- Chew, A. & Riley, M. (2013), 'What is going on with BIM? On the way to 6D', *The International Construction Law Review* .
- Dahlum, S. (2015), 'forskningsmetode'. Hentet 22.04.2020.
URL: <http://snl.no/forskningsmetode>
- Dalland, O. (2012), *Metode og oppgaveskriving for studenter*, 5 edn, Gyldendal akademisk, Oslo.
- Dave, B., Buda, A., Nurminen, A. & Främling, K. (2018), 'A framework for integrating BIM and IoT through open standards', *Automation in Construction* **95**, 35–45.
- Dave, B., Koskela, L., Kiviniemi, A., Tzortzopoulos, P. & Owen, R. (2013), 'Implementing Lean in construction: Lean construction and BIM', *Construction Industry Research and Information Association* .
- Deglum, E. , Svaalestuen, F. & Drevland, F. (2013), *Kompendium i TBA4127/AAR4951 Prosjekteringsledelse*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- Desclaux, H. (2017), 'Synchro Software - 2017 Digital Construction Awards'. Hentet 02.10.2019.
URL: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/209864/Custom%20Success/Santiago%20Airport-Vinci%20Construction%20Grands%20Projets.pdf>
- Dybesland, M. (n.d.), 'Forskning og utvikling'. Hentet 23.04.2020.
URL: <https://www.statsbygg.no/Samfunnsansvar/fou/>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2011), *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, John Wiley & Sons.
- Eikeland, P. T. (1999), Teoretisk analyse av byggeprosesser, arbeidsrapport, Oslo.

- Everett, E. L. & Furseth, I. (2012), *Masteroppgaven: hvordan begynne - og fullføre*, 2 edn, Universitetsforl., Oslo.
- Fløisbonn, H., Skeie, G., Uppstad, B., Markussen, B. & Sunesen, S. (2018), 'MMI – Modell Modenhets Indeks'.
URL: <https://www.eba.no/dokumenter/bygg-og-bolig/mmi--modell-modenhets-indeks/>
- Gledson, B. J. & Greenwood, D. J. (2016), 'Surveying the extent and use of 4D BIM in the UK', *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* **21**, 57–71.
- Grimsby, G. (2018), 'Study on the influence of standards on the Nordic economies'.
URL: <https://www.menon.no/study-on-the-influence-of-standards-on-the-nordic-economies/>
- Grover, D. (2002), 'Graphical Project Planning Techniques: An Overview of Gantt, PERT, and CPM Charts'.
URL: <https://www.egr.msu.edu/classes/ece480/capstone/ganttv1.pdf>
- Hauken, K. & Frøisland, E. K. (2019), 'Erfaringer med 4D BIM i tilbudsfasen og oppfølging byggeplass'.
- Hjerpaasen, G., Paulsen, T., Andersen, T., Fløisbonn, H., Johansen, R.-T., Nicolaisen, K., Hoel, C., Skeie, G., Aarum, S., Johannesdottir, K. & Sandberg, K. (2018), 'BIM-Manual'.
URL: <https://www.eba.no/dokumenter/bygg-og-bolig/bim-manual/>
- Hussein, B. (2016), *Veien til Suksess: Fortellinger og refleksjoner fra reelle prosjektcaser*, Fagbokforlaget.
- Jonsson, J. (1996), Construction site productivity measurements, PhD, Tekniska Högskolan i Luleå.
- Josephson, P.-E. & Björkman, L. (2011), '31 recommendations for increased profit: reducing waste'.
- Kenley, R. & Seppanen, O. (2010), *Location-based Management for Construction*, Spon Press.
- Kyrkjebø, S. F. (2017), 'Synchro PRO - Introduksjon - Opptak fra webinar 16. mai 2017'. Hentet 06.05.2020.
URL: <https://www.youtube.com/watch?v=WRHw0Wao2yE>
- Li, S. (2018), 'Products - SYNCHRO Construction Solution Wiki'.
URL: https://communities.bentley.com/products/construction/w/construction__wiki/40371/products
- Liker, J. (2004), *The Toyota Way*, McGraw-Hill, New York.
- Linge, G. N. (2016), 'Hva er egentlig. . . BIM'. Hentet 19.09.2019.
URL: <https://relasjon.skanska.no/hva-er-egentlig-bim/>
- Ma, Z., Shen, Q. & Zhang, J. (2004), 'Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects', *Automation in Construction* **14**, 369–381.
- Martinsen, T. E. V. K. (2018), '6 typer sløsing og svinn i byggebransjen'. Hentet 02.10.2019.
URL: <https://www.checkd.it/blogg/6-typer-slosing-og-svinn-i-byggebransjen>
- Moore, R. (2007), *Selecting the right manufacturing improvement tools: What tool? When?*, Butterworth-Heinemann, Knoxville.

- Mossman, A. (2017), *Last Planner: 5 + 1 crucial & collaborative conversations for predictable design & construction delivery*, teknisk rapport.
- Musa, A. M., Abanda, F. H., Oti, A. H., Tah, J. H. M. & Boton, C. (2016), 'The Potential of 4D Modelling Software Systems for Risk Management in Construction Projects', *CIB World Building Congress 2016* pp. 988–999.
- Nyeng, F. (2012), *Nøkkeltbegreper i forskningsmetode og vitenskapsteori*, Fagbokforlaget.
- Oesterreich, T. & Teuteberg, F. (2016), 'Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry', *Computers in Industry* **83**, 121–139.
- PMI (n.d.), 'What is Project Management?'. Hentet 24.02.2020.
URL: <https://www.pmi.org/about/learn-about-pmi/what-is-project-management>
- Ramstad, K. (2011), *Bygingsinformasjonsmodell (BIM) og Fremdriftsplanlegging av Produksjon, Masteroppgave*, NMBU, Ås.
- Regjeringen (2007), 'Statsbygg'. Hentet 03.03.2020.
URL: <https://www.regjeringen.no/no/dep/kmd/org/etater-og-virksomheter-under-kommunal--og-moderniseringsdepartementet/underliggende-etater/statsbygg/id440426/>
- Reizgevičius, M., Ustinovičius, L. & Rasiulis, R. (2013), 'Efficiency Evaluation of 4D CAD Model', *Procedia Engineering* **57**, 945–951.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813008539>
- Richert, T. (2017), 'What is the Last Planner System?'. Hentet 11.12.2019.
URL: <https://leanconstructionblog.com/What-is-the-Last-Planner-System.html>
- RIF (2002), *Planlegging av rigg og drift av byggeplass*, Oslo.
- Rolfesen, C. N. & Merschbrock, C. (2016), 'Acceptance of Construction Scheduling Visualizations: Bar-charts, Flowline-charts, Or Perhaps BIM?', *Procedia Engineering* **164**, 558–566.
- Rolstadås, A. (2019a), 'Milepæl – prosjektledelse'. Hentet 23.03.2020.
URL: http://snl.no/milep%C3%A6l_-_prosjektledelse
- Rolstadås, A. (2019b), 'Prosjekt'. Hentet 25.02.2020.
URL: <http://snl.no/prosjekt>
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A. & Owen, R. (2010), 'Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction', *Journal of Construction Engineering and Management* **136**(9), 968–980.
- Samset, K. (2014), *Prosjekt i tidligfasen - Valg av konsept*, 2 edn, Fagbokforlaget.
- Schimpf, T. (2019), 'Synchro Pro Quick Start Advanced 2019 - Overview videos'. Hentet 14.04.2020. Krever innlogging.
URL: https://bentley.matrixlms.com/learner_module/show/222258?lesson_id=877018§ion_id=3321476

- Seppänen, O., Ballard, G. & Personen, S. (2010), 'The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System', *Lean Construction Journal* pp. 43–54.
- Skinnarland, S. & Moen, S. E. (2010), Mot en mer inkluderende byggeplassproduksjon i Kruse Smith - Innføring av ny planleggingsmetodikk i pilotprosjektet Kanalpiren, rapport, Fafo.
- Skorge, O. (n.d.), 'BIM'. Hentet 19.09.2019.
URL: <https://www.statsbygg.no/oppgaver/bygging/bim/>
- Sletteng, P.-A. (2017), 'Bruker 4D på et av Oslos mest spennende byggeprosjekt'. Hentet 12.10.2019.
URL: <http://www.bygg.no/annonsorinnhold/1332992?category=content+marketing>
- Smith, D. P. (2014a), 'BIM & the 5D Project Cost Manager', *Procedia - Social and Behavioral Sciences* **119**, 475–484.
- Smith, P. (2014b), 'BIM Implementation – Global Strategies', *Procedia Engineering* **85**, 482–492.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814019419>
- SN (2010), 'NS 8351 Byggetegninger - Datamaskinassistert konstruksjon (DAK) - Lagdeling'.
- SN (2015a), 'NS 8360 BIM-objekter'. Hentet: 26.02.2020.
URL: <https://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/bygg-anlegg-og-eiendom/2015/ns-83602015-bim-objekter/>
- SN (2015b), 'NS8360 BIM-objekter'.
- SN (2017), 'Veiledning til NS 8360 BIM-objekter'.
- SN (2019), 'Standardisering'. Hentet 23.02.2020.
URL: <https://www.standard.no/standardisering/>
- Song, L., Mohamed, Y. & AbouRizk, S. M. (2009), 'Early Contractor Involvement in Design and Its Impact on Construction Schedule Performance', *Journal of Management in Engineering* **25**(1), 12–20.
- Statsbygg (2019a), 'SIMBA - Statsbyggs BIM-krav'. Hentet 03.03.2020.
URL: <https://sites.google.com/view/simba-bim-krav/simba-2-0?authuser=0>
- Statsbygg (2019b), 'SIMBA 2.0-c, Veiledning'. Hentet 03.03.2020.
URL: <https://drive.google.com/file/d/1Qe2MHvv-8DZrKsTaJUVVyu5ylhERdB1O/view>
- Sterri, A. (2017), 'bruttonasjonalprodukt – BNP'. Hentet 25.05.2020.
URL: http://snl.no/bruttonasjonalprodukt_-_BNP
- Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Mäkelä, T. & Kähkönen, K. (2010), '4D-BIM for Construction Safety Planning', *W099-Special Track 18th CIB World Building Congress*.
- Synchro (2015), 'Safety Planning Example - Synchro Demo Model'. Hentet 28.05.2020.
URL: <https://www.youtube.com/watch?v=515TNxr-aMI>
- Synchro (2018), 'Synchro PRO 2018 - Technical overview'. Hentet 17.04.2020.

- URL:** [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/209864/Synchro %20PRO %202018 %20- %20technical %20overview.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/209864/Synchro%20PRO%202018%20-%20technical%20overview.pdf)
- Synchro (2020), 'Synchro Software'. Hentet 17.04.2020.
URL: <https://www.synchro ltd.com/about/>
- Thidemann, I.-J. (2015), *Bacheloroppgaven for sykepleierstudenter: den lille motivasjonsboken i akademisk oppgaveskriving*, Universitetsforlaget, Oslo.
- Thurmond, V. A. (2001), 'The Point of Triangulation', *Journal of Nursing Scholarship* **33**(3), 253–258.
- Tjora, A. H. (2010), *Kvalitative forskningsmetoder i praksis*, Gyldendal akademisk, Oslo.
- Todsén, S. (2018), 'Produktivitetsfall i bygg og anlegg'. Hentet 17.12.2019.
URL: <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/artikler-og-publikasjoner/produktivitsfall-i-bygg-og-anlegg>
- Torres-Calderon, W., Chi, Y., Amer, F. & Golparvar-Fard, M. (2019), 'Automated Mining of Construction Schedules for Easy and Quick Assembly of 4D BIM Simulations', *Computing in Civil Engineering 2019* pp. 432–438.
- Trimble (2016), 'Vico Office'. Hentet 13.12.2019.
URL: <https://gc.trimble.com/product-categories/vico-office-time>
- Wnuk, K. (2017), The impact of snowballing literature review on the domain knowledge confidence and cognitive complexity in their thesis reports, teknisk rapport, Blekinge Tekniske Høgskole.
- Øvern, K. M. (2014), 'Litteraturstudie som metode'. Hentet 29.10.2019.
URL: <https://www.slideshare.net/higbibl/litteraturstudie-som-metode>

Vedlegg 1 – Veiledningsdokument for Synchro Pro

Synchro Pro

Veileder for bruk av 4D BIM med Synchro Pro



Mats Bråten & Erik Nicolai Wold

11. juni 2020

Forord

Denne veilederen er laget som en del av masteroppgaven «Digitalisering i byggebransjen - 4D BIM og dagens modelleringspraksis», skrevet våren 2020 av Mats Bråten og Erik Nicolai Wold. I løpet av arbeidet med oppgaven ble det tydelig at terskelen for å iverksette 4D BIM på norske byggeprosjekter var for høy, og at mangel på kompetanse er en av hovedutfordringene. Derfor var det ønskelig å lage en veileder for arbeid i Synchro Pro, som er på norsk og forhåpentligvis enkel å forstå.

Denne veilederen gir en grunnleggende innføring i og forklaring av sentrale funksjoner som Synchro Pro tilbyr til brukeren, i tillegg til å knytte disse mot ulike bruksområder ved fremvisning av konkrete eksempler. Dette dokumentet er et «levende utkast», det vil si at vår ambisjon er å legge til ny informasjon etterhvert som vår kompetanse i Synchro øker, samt raffinere innholdet som allerede er nedskrevet.

Informasjon om funksjoner og muligheter er hovedsaklig hentet fra Synchro sitt veiledningsdokument (PRO Training 2018, som følger med installasjonsfilen for Synchro PRO 2018), veiledningsvideoer fra YouTube, Synchro Help (en søkefunksjon i programvaren), Synchro Academy, samtaler med tekniske veiledere fra Synchro/Bentley, supplert med egne erfaringer. Det finnes et stort antall måter å løse et problem / utføre en oppgave på i Synchro Pro, og naturligvis vil ikke alle de ulike måtene vil dekkes her.

Planer har som regel blitt laget selv, ettersom studentlisensen kun godtok inntil 125 aktiviteter. De benyttede modellene og er hentet fra:

- Synchros veiledningsmappe som inneholdt en eksempelmodell og fremdriftsplan
- Synchros utstyrsbibliotek
- Betonmast Romerike
- Betonmast Telemark

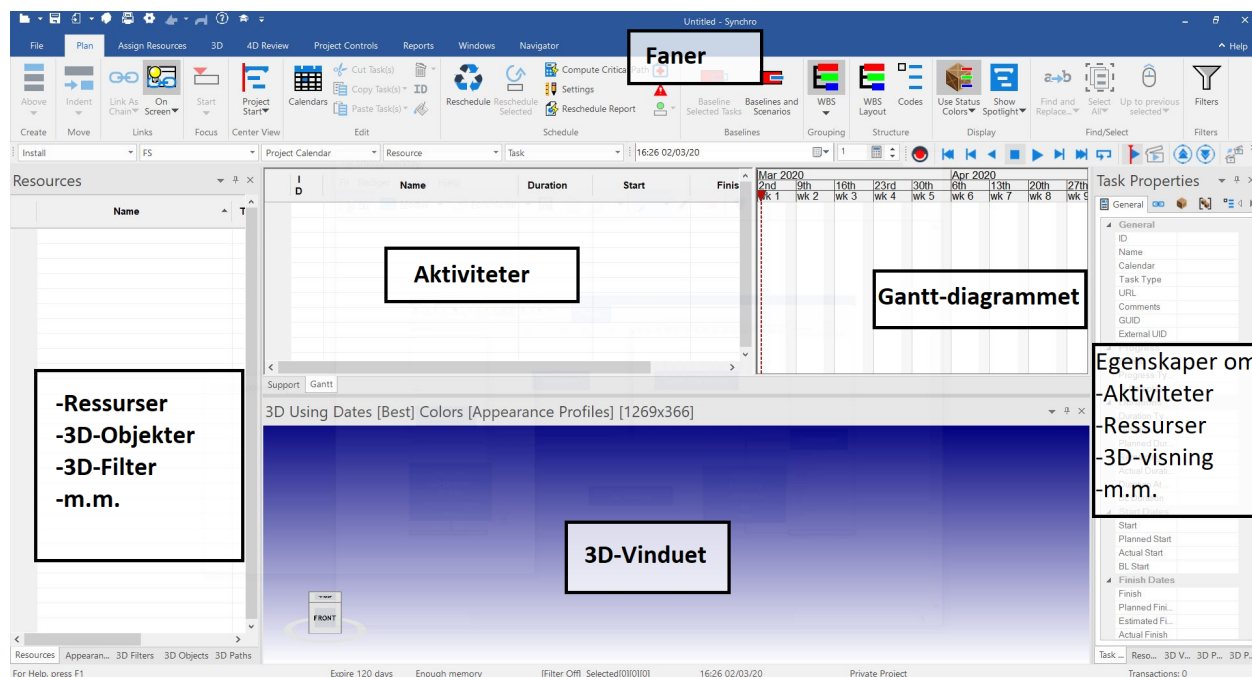
Innhold

1 Brukergrensesnittet i Synchro	1
2 Autolagring	2
3 Importere Planer	2
3.1 Importere plan fra Microsoft Project XML	3
3.2 Dato display	3
4 Importere modeller	3
4.1 Importering av 3D fil	3
4.2 Importering av modell fra IFC-format	4
4.3 Importering av 3D modell fra andre formater enn IFC, feks DWF og DWFx.	6
4.4 Ressurser	8
4.5 Resource Wizard	8
4.6 Hvordan skal ressursen opprettes	8
4.7 Duplicate names warning / Begrense dybden på 3D objekt treet	11
4.8 Importere kart og plassere prosjektet i kartet	11
5 Importere utstyr og maskiner	15
5.1 Importere utstyrmodeller	15
5.2 Appearance profile for utstyr	15
5.2.1 Koble utstyrmodeller til aktiviteter	16
6 Redigere 3D objekter	16
6.1 Flytte og rotere objekter (Simple Manipulator)	16
6.2 Flytte, flytte langs plan, rotere og skalere (Advanced Manipulator: Ctrl + b)	16
6.3 Redigere objekter som allerede er koblet til aktivitet (Edit as Assigned)	17
7 4D koblingsprosess - lenke ressurser til aktiviteter	17
7.1 Velge ressurser	18
7.2 Kontrollere, undersøke, evaluere koblinger	19
7.3 Appearance profiles - hvordan aktiviteter vises i modellen under gjennomføring	19
8 Tilpasse Appearance Profile	19
8.1 Transparency interpolation	20
8.2 Vekstsimulering	20
8.3 Gruppere objekter for vekst	21
9 Lage nye aktiviteter	21
9.1 Sette inn nye aktiviteter manuelt	21

10 3D Subdivision - splitting av objekter direkte i Synchro	22
10.1 Problemer med 3D Subdivision	23
10.2 Redigere subdivision	24
10.3 Subdivide flere objekter	24
10.3.1 Hvordan unngå like navn på ressurser når man har subdividet	28
11 Auto-matching - automatisk koble sammen objekter og aktiviteter	29
11.1 Lage regel for auto-matching og utføre auto-matching	30
11.2 User Fields og hvordan det kan brukes for auto-matching	31
12 Tilegne objekter bevegelser ved bruk av 3D Path	32
12.1 Eksempel 1: Lineær bevegelse for gravemaskin	33
12.1.1 Lage 3D path	33
12.1.2 Koble 3D Path til en ressurs	33
12.1.3 Redigere 3D Path	34
12.2 Eksempel 2: Containerbil, ikke-lineær kjørerute med flere punkter	35
12.3 Eksempel 3: Tårnkranbevegelse, rotasjon	39
13 Kopiere og lage nye 3D objekter i Synchro	41
13.1 Kopiere	41
13.2 Lage nye objekter	41
13.2.1 Modellere en container i Synchro ved bruk av 3D Grid	42
14 3D Filter	44
14.1 Eksempel: Flere filtre samtidig	45
15 Synkronisering av 3D modeller	49
15.1 Optimering av 3D modell for synkronisering	49
15.2 Synkronisering av 3D modeller	49
15.3 Identifisere endringer i 3D-objektene	49
16 Baselines og synkronisering av planer	50
16.1 Å lage en Baseline	51
16.2 Synkronisere planer	51
16.3 Sammenligne ulike planer i ulike 3D-vinduer	55
17 Cutting planes	55
18 Viewpoints	56
19 Animasjoner	56

1 Brukergrensesnittet i Synchro

Når man åpner et nytt prosjekt i Synchro Pro (heretter kalt Synchro), er brukergrensesnittet som vist i figur 1.

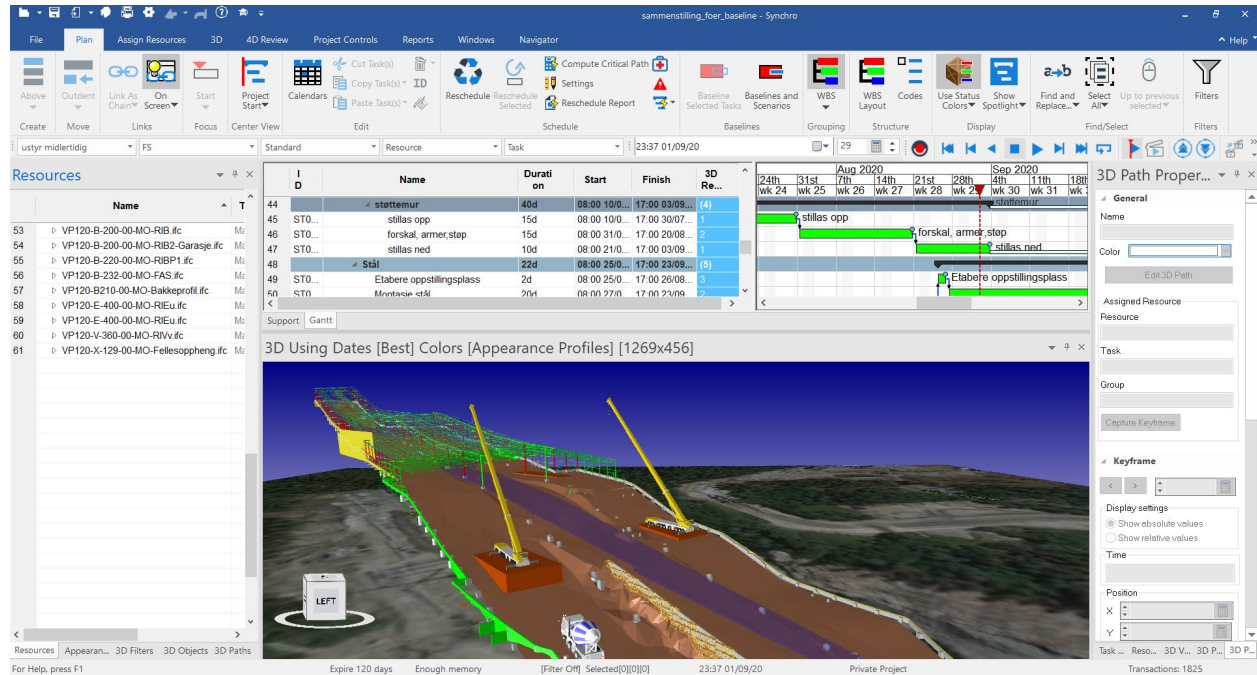


Figur 1: Brukergrensesnitt ved opprettelse av nytt prosjekt.

- **Faner:** Her vises en rekke ulike kommandoer, sortert etter kategorier.
- **Aktiviteter:** Her vises fremdriftsplanen. Man kan legge inn ulike aktiviteter med varigheter og koblinger manuelt i vinduet, eller så kan man importere en plan fra et eksternt planleggingsprogram.
- **Gantt-diagrammet:** Her vises fremdriftsplanen med et Gantt-diagram. Den røde, stiplede linjen indikerer fokustiden. Fokustiden kan endres ved å dra den røde linjen frem og tilbake, til den datoen en ønsker å vise.
- **Ressurser, 3D-objekter, 3D-filter m.m:** Her vises listen av 3D-objekter, ressurser m.m. Listene inkluderer både importerte objekter/ressurser, og de som er opprettet direkte i Synchro. Ressurstreet kan restruktureres i programvaren, det kan ikke listen over 3D-objekter. Her kan man også filtrere ut hvilke objekter som skal vises i 3D-vinduet. Flere funksjoner som aktiveres i «Faner» vises her, og legges ved siden av «Resources», «Appearance profiles» osv.
- **3D-vinduet:** Her vises geometrien til 3D objektene, og som standard viser vinduet alle importerte objekter. Når de kobles til fremtidige aktiviteter (aktiviteter som skal gjennomføres *etter* datoen fokustiden er innstilt på), vil de fjernes fra visningen og dukke opp igjen når denne aktiviteten skjer ihht. datoen i fremdriftsplanen. 3D vinduet reflekterer altså geometrien til bygget slik fremdriftsplanen sier den skal være til enhver tid.
- **Egenskaper om aktiviteter, ressurser, 3D-visningen osv:** Her vises informasjon om egenskapene til-knyttet ulike aktiviteter, 3D-objekter, 3D-visningen m.m. Hvis man for eksempel markerer en aktivitet, vil informasjon om aktiviteten vises her under «Task Properties». Her har man også mulighet til

å endre egenskaper til objektene/ressursene i etterkant av at importering og koblinger til aktiviteter er gjort.

Man har også muligheten til å endre oppsettet på brukergrensesnittet. Man kan velge hvilke vinduer som skal vises, og hvor de skal plasseres. En kan med andre ord skreddersy utformingen slik man selv ønsker. Et eksempel på hvordan brukergrensesnittet kan se ut (med standard oppsett) underveis i et prosjekt er vist i figur 2.



Figur 2: Eksempel på brukergrensesnitt i Synchro.

2 Autolagring

Synchro har en funksjon som automatisk lagrer/sikkerhetskopierer prosjektet man jobber med. For å aktivere denne: Options → General → Auto Save. Denne kan settes til f.eks 90 min. Hvis man har store filer, så vil det ta lengre tid for hver autolagring, og det er ikke mulig å redigere prosjektet når autolagring pågår. Derfor bør man sette hyppigheten på autolagring på bakgrunn av hvor lenge man er villig til å vente for hver gang, og hvor mye arbeid man er villig til å miste hvis dataen krasjer. Man kan også aktivere funksjonen «Backup project file when opened». Da vil Synchro lagre en kopi av filen når man åpner den og før man har rukket å gjøre endringer. Dette vil gjøre det lettere å finne tilbake til forrige fil hvis man gjør feil på et senere tidspunkt. Når Auto Save er aktivert, er det anbefalt å aktivere sletting av autolagret fil ved vanlig lukking av programmet, for å hindre unødvendig bruk av lagringsplass.

3 Importere Planer

Man kan lage og justere fremdriftsplanen direkte i programvaren, men det er også mulig å importere fra et eksternt planleggingsprogram. Aktuelle formater å importere planer fra, er:

- Synchro PRO og Synchro Schedulerer (.sp)
- Asta Powerproject
- Microsoft Project (.XML)
- PMA NetPoint
- Primavera P6
- IFC

3.1 Importere plan fra Microsoft Project XML

Microsoft Project er et populært planleggingsverktøy. Her presenteres fremgangsmåten for å importere en plan fra MS Project til Synchro.

Synchro kan importere fra XML format, så planen som er utarbeidet i MS Project må først eksporteres som .XML. Deretter klikker man i File-fanen → Import → Microsoft Project XML og velger den aktuelle planen. Ved import av XML-filer får man opp valg om hvordan man vil behandle forskjellige egenskaper i filen som importeres. Man kan velge hva man vil gjøre med egenskaper som *oppgaver*, *koblinger*, *kostnader* og lignende, og hvorvidt disse skal importeres eller sløyfes.

Etter man har importert planen, vises den i planleggingsvinduet, med det tilhørende Gantt-diagrammet til høyre. I «Plan»-fanen → WBS kan man velge om man ønsker å vise planen med opprettede WBS (Work-Breakdown-Structure), eller som en ren aktivitetsliste.

For å endre oppsettet med kolonnene i Synchro, for eksempel legge til kolonner: Høyreklikk øverst i listen over aktiviteter → customize columns, for å legge til / fjerne / endre rekkefølgen.

3.2 Dato display

Man kan velge mellom ulike formater for visning av tid og dato. Dette kan endres i Navigator-fanen → Options → General → Time Display Format. Her kan man for eksempel velge 24-timers klokke. Man kan også endre Layout på datoene, fra for eksempel *kun* dato til både ukedag *og* dato. Visningene kan tilpasses nivået til planen, for eksempel kan det være fornuftig med ukedagvisning på overordnede planer, mens detaljerte produksjonsplaner muligens også bør vise ukedagene.

4 Importere modeller

Synchro kan importere 3D-modeller av 58 ulike filtyper, inkludert blant annet DWF, DWG, DGN, SKP, 3D PDF og IFC. Man kan også laste ned utvidelser til Synchro for å kunne konvertere blant annet Revit (RVT), Navisworks (NWD og NWF) og Bentley (i-model og DGN) til Synchro Project format (SPX). For ytterligere informasjon angående hva som er viktig når modeller skal eksporteres fra CAD-verktøy til IFC, se kapittel 5.3 og 6.3 i masteroppgaven vår, «Digitalisering i byggebransjen».

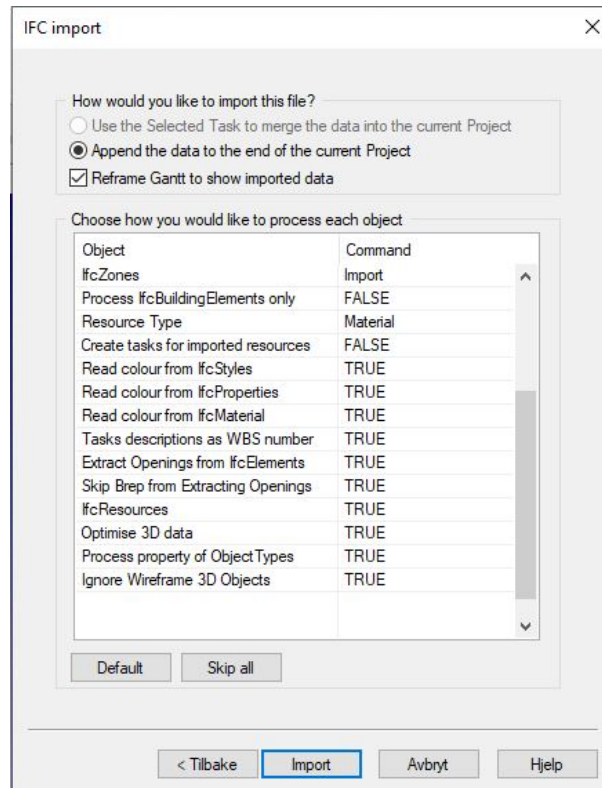
4.1 Importering av 3D fil

Når man importerer fra ulike 3D-formater, får man forskjellige valgmuligheter i Synchro. Videre presenteres først import fra IFC, deretter import av 3D-filer av formater som DWF og DWFX.

4.2 Importering av modell fra IFC-format

En modell i IFC-format er i bunn og grunn en tekstfil. Formatet er likevel nyttig fordi det fungerer som en felles, åpen standard for dataoverføring mellom ulike programmer. De aller fleste programmer kan eksportere til, og importere fra, IFC-formatet. IFC er en åpen standard, og hvis de modellerende ikke bruker programmer som kan eksportere til for eksempel .dwf er eksport til IFC et godt alternativ.

For å importere IFC-modeller inn til Synchro: File-fanen → Import → IFC. Finn ønsket fil, og velg import (ved å holde ctrl-knappen inne kan man velge flere filer samtidig). Deretter presenteres man med et IFC import-vindu, se figur 3.



Figur 3: Utsnitt av IFC import-vinduet. (Her vises ikke alle spørsmålene).

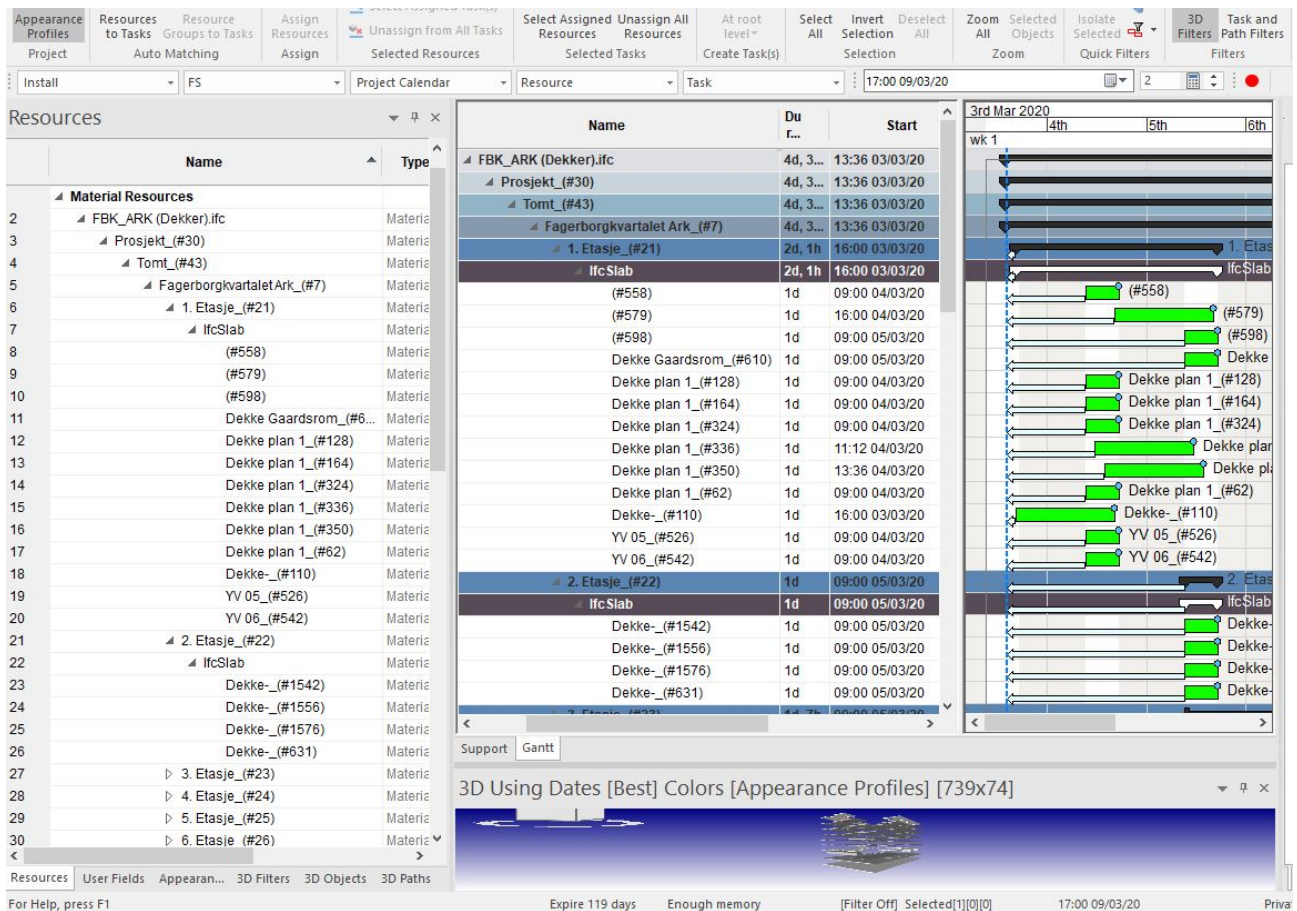
Her får man spørsmål om følgende egenskaper ved IFC-filen:

- Tasks, links, calendars, User Field Values, IfcSpaces, IfcZones: Man kan velge om disse skal importeres fra IFC-filen eller ikke. User Field Values kan være spesielt nyttig dersom man skal foreta automatisk sammenkobling av objekter og aktiviteter. Hvis man velger å importere IfcSpaces, så vil de automatisk lagres som «Loction resources», lokasjonsressurser.
- Resources & Resource Assignments: Standard for import av geometrisk informasjon er IfcElement. Hvis disse elementene også har en 3D-representasjon, vil også den importeres som et ressurselement (med 3D-representasjon) når man velger «Import».
- Process IfcBuildingElements only: Denne styrer hvilke IFC-elementer man importerer. TRUE impor-

terer bare BuildingElements (objekter med klassen IfcBuildingElement), mens FALSE importerer alle elementer.

- Resource type: Velger hvilken type ressurs IFC-elementene skal importeres som (material, lokasjon, utstyr eller menneske).
- Create tasks for imported resources: Når denne settes til TRUE, vil Synchro lage en aktivitet for hvert importerte IFC-element, med samme WBS som ressurstreet. Synchro setter også opp en viss rekkefølge på aktivitetene, med bakgrunn i informasjon om etasjer, type elementer (vegg, dekke, tak o.l.) og høydekoter. Se eksempel på hvordan et prosjekt kan se ut etter en import hvor man har valgt TRUE på dette alternativet, ved at ressurs-treet speiles til fremdriftsplanen, i figur 4.
- Diverse spørsmål om hva den skal lese farger fra: Her vil det stort sett fungere greit å markere alle som TRUE.
- Task Descriptions as WBS number: Hvis IFC-filen inneholder beskrivelser av aktivitetene, med en hierarkisk oppbygning, så kan dette brukes som basis for å sortere aktivitetene til WBS-en i Synchro. Hvis dette er ønskelig, markeres denne TRUE.
- IfcResources: Når TRUE, vil ressurser (f.eks arbeidskraft) importeres. Dette vil da importeres uavhengig av hva man har valgt tidligere i valget «Resource type».
- Optimise 3D Data: Når TRUE, vil Synchro prøve å optimalisere de importerte modelldataene ytterligere.
- Process Property of Object Types: Når TRUE, vil IfcTypeObject-verdien importeres som et User Field.
- Ignore Wireframe 3D Objects: Denne kan aktiveres for å unngå importering av polylinjer, linjer, sirkelbuer og lignende.

For øvrig: Når man importerer fra IFC så vil ikke strukturen i listen over 3D-objekter være en-til-en med ressurstreet, slik den blir når man importerer fra 3D fil (beskrives i kapittel 4.3). Dette medfører at 3D-objekt-listen kan oppfattes noe rotete, men dette kan håndteres ved aktiv bruk av 3D filtre (forklares senere). Dette oppfattes allikevel mer tungvint enn det som er tilfellet når man importerer fra 3D-fil; da er nemlig ressurs-treet og 3D-objekt-treet en-til-en etter importeringen (3D objekt treet kan ikke endres i ettertid). Man kan løse denne problematikken ved å velge objekter ut ifra deres plassering i ressurs-treet, som ofte er et like greit alternativ.

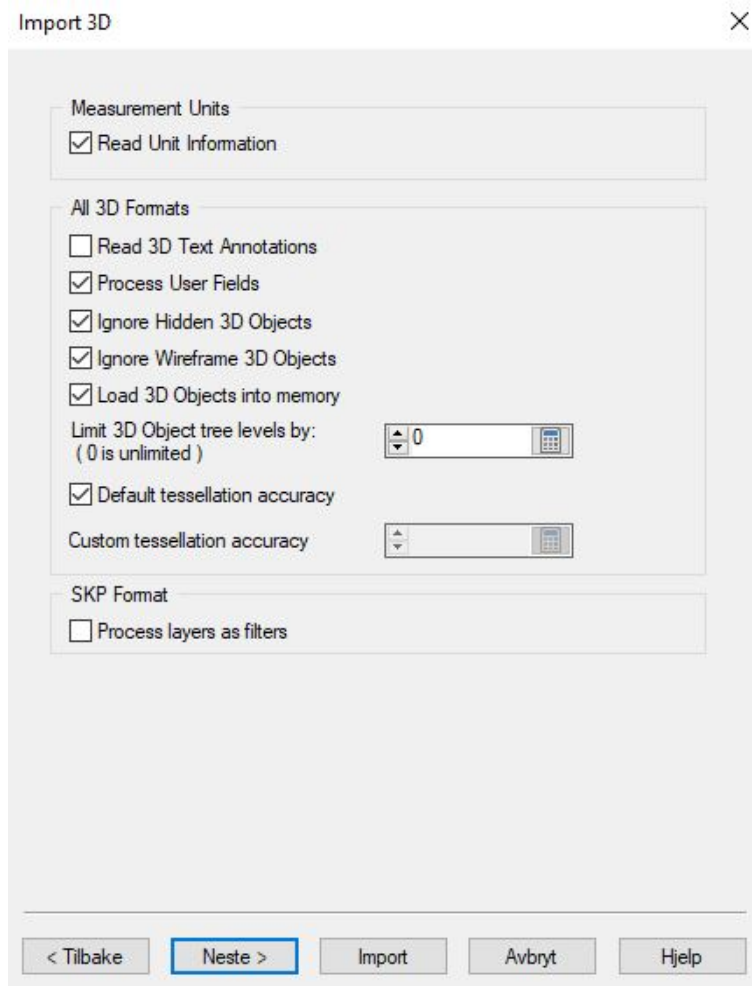


Figur 4: Eksempel på hvordan WBS-en i fremdriftsplanen importeres når man utfører import med «Create tasks for imported resources» aktivert.

4.3 Importering av 3D modell fra andre formater enn IFC, feks DWF og DWEx.

Populære modelleringsprogrammer som Revit kan også eksportere filer til blant annet DWF-format. Derfor er det være aktuelt å importere fra denne filtypen også. Synchro har et bibliotek med en rekke modeller for riggobjekter som kraner, biler, stillas, brakkerigg osv. Disse modellene kan lastes ned som .dwf-filer ved å klikke på «Equipment Library» i programvaren. Fremgangsmåten er den samme for å importere fra IFC, men man må da velge file-fanen → Import → 3D (istedenfor IFC).

Etter man har valgt 3D filen(e) som skal importeres, presenteres man for import-vinduet, se figur 5.



Figur 5: Import vinduet for 3D filer.

Her får man en rekke valg om hvordan filen(e) skal importeres:

- Read unit information: Når denne er aktiv, vil enhetsinformasjon som centimeter, meter, millimeter beholdes.
- Read 3D text Annotations: Når aktiv, vil Synchro prosessere tekst som tilhører 3D objektet i CAD-filen.
- Process user fields: Når aktiv, vil Synchro importere system- og brukergenererte parametre (eller stikkord) sammen med 3D geometrien som **User Fields**.
- Ignore hidden 3D objects: Når aktiv, vil ikke eventuelle objekter som er gjemt grunnet filter-instillinger i 3D filen bli importert til Synchro. Hvis man ønsker å importere alle 3D objekter uavhengig av hvilke filtre som er i filen, skal denne funksjonen _være avslått.
- Ignore wireframe 3D objects: Når aktiv, vil ikke polylinjer, linjer, sirkler, ellipser o.l. i 3D filen importeres til Synchro.
- Load 3D objects into memory: Denne funksjonen kontrollerer hvorvidt importerte objekter automatisk legges til i minnet. Hvis denne er aktiv, vil 3D objektene vises umiddelbart i Synchros 3D-vindu. Hvis

denne ikke aktiveres, vil importeringen gå raskere (kan anbefales for import av større filer), og man må aktivere visning av objektene etter import ved å huke av hva som skal vises i 3D-vinduet.

- Default tessellation accuracy: Da vil maskinen selv bestemme presisjonen på tessellisjonen (antall triangler som brukes for å representere overflaten til geometrien).
- SKP format (process layers as filters): Når aktiv, lages filtre for de ulike Sketchup-lagene.

PS: Autodesk har spesifisert y-aksen som vertikal, mens z-aksen er vertikalaksen i Synchro Pro. Dersom man importerer fra DWF-format, vil funksjonen *Rotate DWF format* orientere objektene i henhold til aksene i Synchro (denne muligheten kommer etter at man har klikket seg videre fra det første 3D-import vinduet som dukker opp).

4.4 Ressurser

3D objekter som importeres til Synchro er bare 3D-representasjoner/ geometri som kan vises eller manipuleres i 3D-visningen. For at 3D-objektene skal kunne kobles til aktiviteter, må de først være knyttet til / definert som ressurser. En ressurs er noe som kan benyttes i planen, og de er kategorisert som utstyrs-, menneskelige, lokasjons- eller materielle ressurser. En ressurs er gjerne enten ett enkelt, eller en gruppe av 3D-objekter, men behøver ikke nødvendigvis å ha en 3D-representasjon. Typiske ressurser som ikke har 3D representasjoner kan være menneskelige ressurser eller ressurser tilknyttet kostnader.

4.5 Resource Wizard

Når man importerer en 3D-modell, så vil man oftest velge «assign to a new resource» for å opprette en ny ressurs. Man kan også velge «Assign to existing resource» (legge til en allerede eksisterende ressurs) eller «no assignment» (Dette avslutter importeringsprosessen uten å lage noen ressurser. Dermed må man senere opprette ressurser for 3D-objektene hvis de skal knyttes til aktiviteter i planen). Når man velger «Assign to a new resource» vil dette sørge for at 3D-modellen legges til som en *ny* ressurs (og at det dermed er mulig å koble den til aktiviteter). Deretter navngir og kategoriserer man ressursen ut ifra firma, navn og type ressurs. Navnet man setter blir navnet på den øverste noden i «ressurstreet». Ressurser knytter seg til firmaer og hvis man tidligere har registrert firmaet i prosjektet (navigator → project data → companies), så vil man kunne velge det aktuelle firmaet her. Videre kommer man til spørsmål om *hvordan* ressursen skal opprettes.

4.6 Hvordan skal ressursen opprettes

Å opprette ressursen på «riktig» måte første gang 3D-filen importeres, er viktig for at man skal kunne bruke Synchro så effektivt som mulig. Dette er nyttig for å filtrere eller gruppere 3D-objektene som importeres som ressurser. Konsekvensene av de ulike valgene demonstreres med et eksempel. Eksempelfilen tar for seg import av en dumper, lastet ned fra Synchro sitt utstyrsbibliotek. Forskjellen ved de ulike valgene beskrives under, samt vises de ulike ressurs-trærne som følger av de ulike valgene i figur 6. Listen over 3D objekter vil være lik for alle alternativene, men hvis man velger et objekt fra 3D objects-listen som ikke er tilknyttet en ressurs, kan man ikke koble dette til en aktivitet.

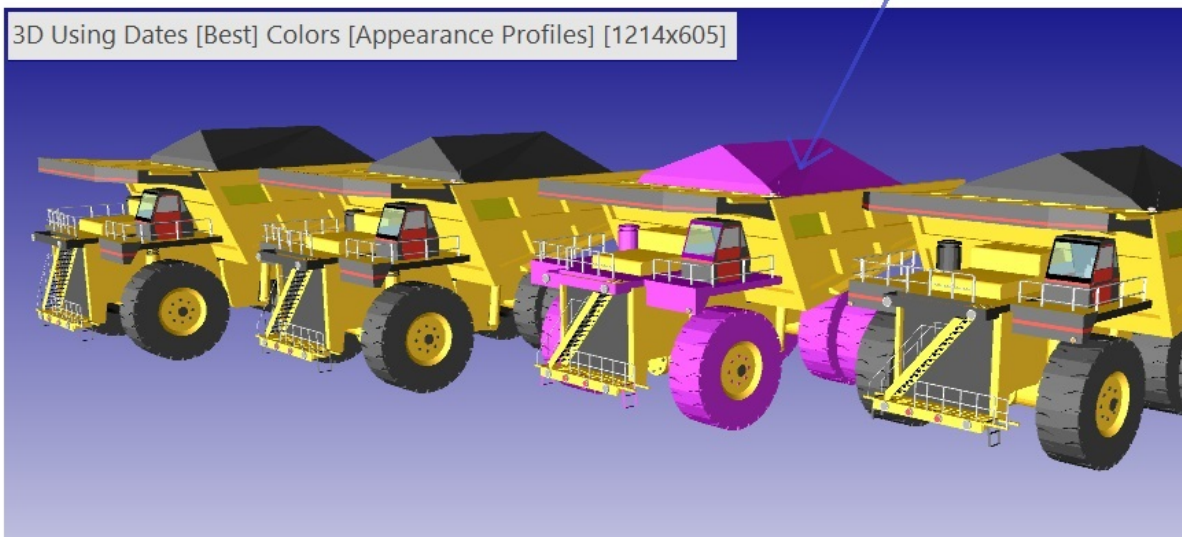
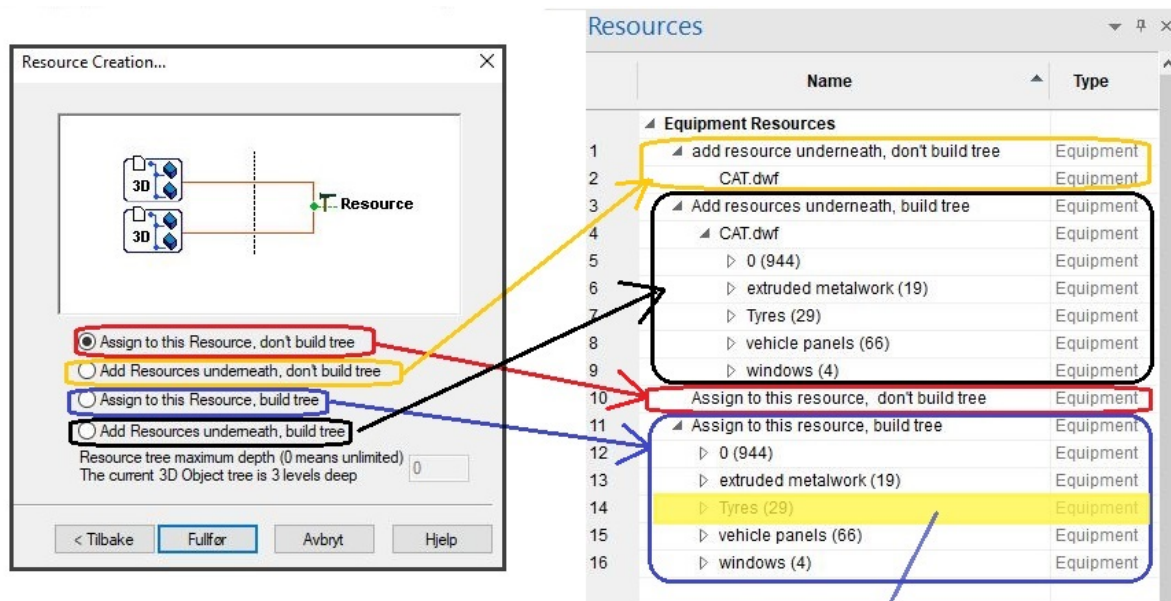
1. **Assign to this resource, don't build tree:** Da lages én enkelt, felles ressurs for 3D objektet/objektene som importeres. Alle objektene som importeres grupperes altså sammen til én felles ressurs. Dette er som oftest det foretrukne valget når man importerer modeller for riggutstyr/maskiner. Dette er fordi

disse stort sett behandles som ett felles objekt, alle objektene skal kobles til den samme aktiviteten, og man har ikke behov for at det lages separate ressurser for hjul, ratt, lasteplan o.l. (egne ressurser for dette vil også kreve mer kapasitet av datamaskinen).

2. **Add Resource underneath, don't build a tree:** Dette lager en ressurs for hver fil som importeres, men objektene i hver fil grupperes sammen til den øverste noden i ressurstreet. Hvis man for eksempel importerer en gravemaskin og en dumper samtidig, er denne funksjonen nyttig. Da vil gravemaskinen og dumperen behandles som to ulike ressurser, og de kan knyttes til sine respektive aktiviteter.
3. **Assign to this Resource, build tree:** Når man importerer en 3D-fil med dette alternativet, så lages det flere ressurser, med den samme tre-strukturen som eksisterer i korresponderende liste over 3D-objekter. Når man importerer **flere** 3D-filer samtidig med dette valget, vil (ifølge alt vi har funnet av forklaringer i Synchro sine veiledninger, Synchro HELP, og videoer på Youtube) tre-strukturene slås sammen, men ved å teste dette alternativet for en mengde modeller oppleves ikke dette. Som man ser av figur 6 lages det ressurser for alle de ulike 3D-objektene som den importerte filen inneholder. Fra eksempelet vil det si at man kan tilegne de 29 3D-objektene som ligger under noden «Tyres (29)» til aktiviteter, enten samlet eller separat.
4. **Add Resources underneath, build tree:** Når man importerer en 3D-fil med dette alternativet, så lages det et flertall ressurser, med den samme tre-strukturen som eksisterer i korresponderende liste over 3D objekter. Strukturen beholdes også hvis man importerer flere CAD filer samtidig, og strukturene til de ulike filene beholdes.

Kommentar, forskjellen mellom alternativ 3 og 4: Synchro Pro Training og Synchro HELP-sidene beskriver at man får hovedforskjellen på alternativ 3 og 4 når man importerer **flere** CAD filer samtidig. Det opplyses om at tre-strukturen blir slått sammen når man velger alternativ 3, men ikke alternativ 4. Vi opplever likevel ikke at det skjer, men at tre-strukturene beholdes (altså slik det beskrives i alternativ 4). Den eneste forskjellen som er funnet mellom disse alternativene, er at ved å velge alternativ 4 vil man få en ekstra node øverst i treet, som man også kan navngi ved importen (se figur 6).

I figur 6 er først vinduet som dukker opp med ulike alternativer vist. Deretter kan man se hvilke konsekvenser de ulike valgene vil ha for hvordan 3D-filen opptrer som ressurs(er).



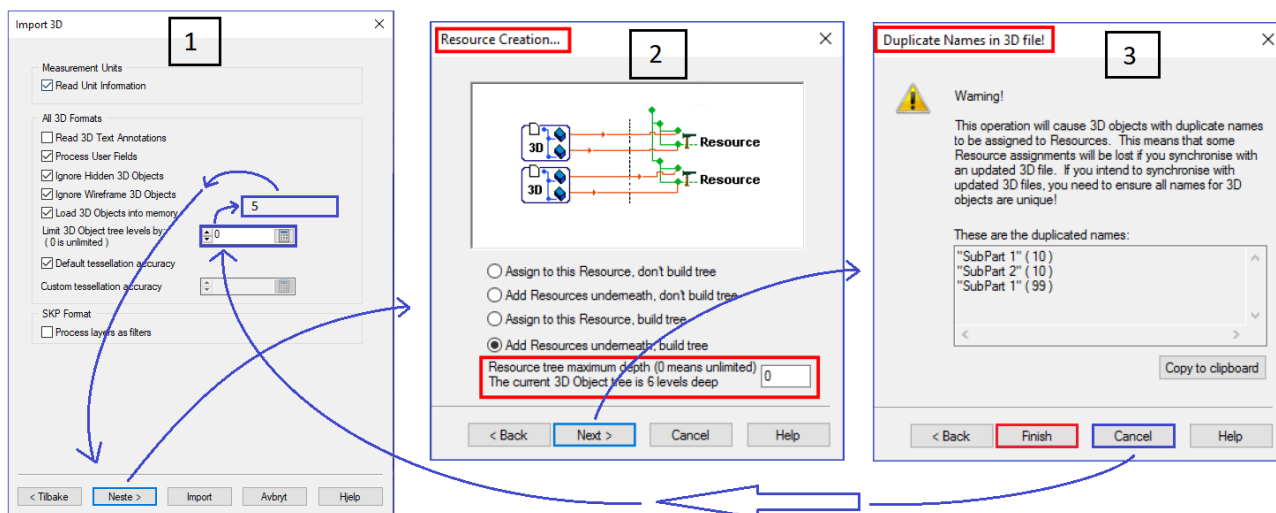
Figur 6: Opprettese av ressurser og hvordan ressurstreet blir ved ulike valg.

Hvilket alternativ man velger avhenger av hvor mange filer man skal importere, og hvordan man planlegger å bruke de(n):

- **Don't build tree:** Passer når man vil gruppere CAD-filene til én fil. For eksempel hvis man tar inn en modell av en dumper som innehar bolter, hjul osv., men man ønsker å importere den som en enkelt ressurs som inkluderer alle elementene.
- **Build tree:** Passer når man vil koble objektene i modellen til *forskjellige* aktiviteter i fremdriftsplanen.
- **Add Resources underneath, build tree** gir det største objekt-treet og flest muligheter for filtrering og kobling av ressurser til aktiviteter.

4.7 Duplicate names warning / Begrense dybden på 3D objekt treet

Ved import, spesielt når man velger «build tree» i Resource Wizard, kan man få en advarsel om at det er flere objekter med samme navn i filen(e) som importeres, se bilde 3 figur 7. Hvis man ikke gjør noe med dette, kan det føre til feilmeldinger ved senere synkronisering. Man kan få denne advarselen når man importerer en fil som er eksportert fra Revit. Typisk får man opp at det er mange objekter med navn «SubPart 1» eller lignende som ligger i bunnen av 3D-objekt strukturen. Dette kommer fordi man har utført kopiering og liming i Revit, fremfor å lage nye objekter hver gang. Da får ikke de ulike «SubPart-ene» unike ID'er. Hvis man ignorerer denne advarselen (trykker «Finish» på bilde 3 i figur 7) og knytter objekter til ressurser, og ressursene til aktiviteter, kan man få problemer senere. Ved synkronisering av oppdaterte 3D-modeller kan man miste noen av ressursenes tilknytninger fordi Synchro ikke vet hvilke 3D-objekter som er koblet til hvilke ressurser ettersom de har samme navn. Derfor er det viktig å sørge for at alle 3D-objektene har unike navn. Dette kan gjøres ved f.eks å begrense detaljnivået ved importeringen. Eksempelet i figur 7 har et objekt-tre med en dybde på 6 nivåer (det kan leses fra bilde 2 i figuren). Ofte vil det være på det / de nederste nivåene i strukturen man har like navn, og man kan unngå disse problemene ved å sette maksimal dybde på 3D-objektene til 5 nivåer ved importering. Dette gjøres ved å avbryte importeringen ved å trykke «cancel» når man er på «bilde 3-stadiet» i importeringen. Deretter starter man importeringen på nytt, endrer dybdebegrensningen på 3D-objekt-treet (her til 5), før man fortsetter importeringen som normalt.



Figur 7: Prosesskart for å unngå like navn på objekter man importerer.

4.8 Importere kart og plassere prosjektet i kartet

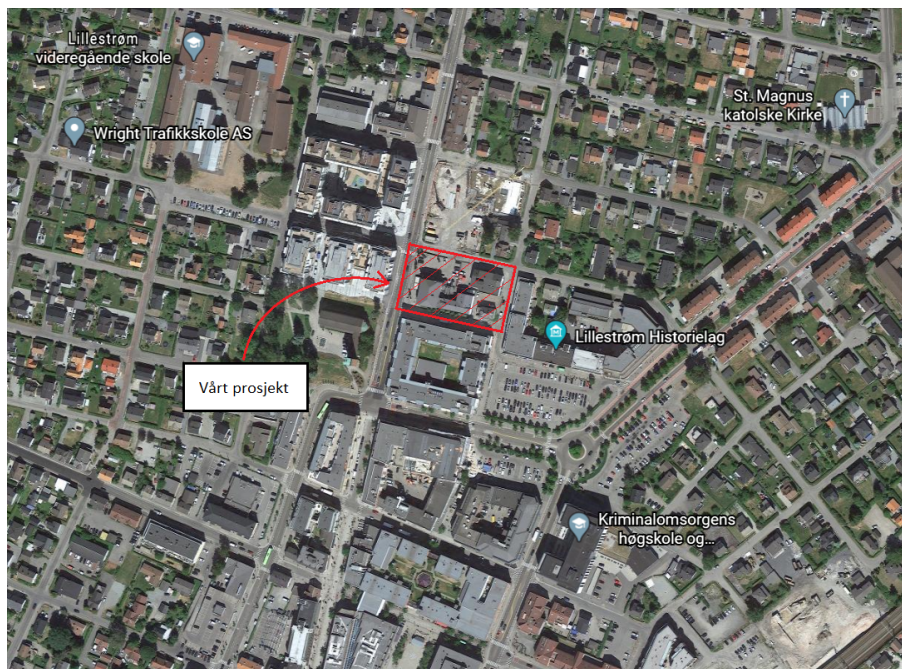
Det å plassere bygget på et kart kan gjøre fremvisningen mer virkelighetsnær, og kan være nyttig for å kunne visualisere omliggende infrastruktur, ankomstveier, o.l. Hvis man ikke har en modell av området rundt, kan man løse det på andre måter. 3D-modeller av blant annet bygg kan for eksempel lastes ned fra ulike nettsteder, som feks <https://3dwarehouse.sketchup.com>. Hvis en har et byggeprosjekt i nærheten av et kjent byggverk, så kan man fra denne siden laste ned en 3D-modell av dette bygget for å få en mer virkelighetsnær 4D BIM-modell.

Hvis man ikke har en modell av området rundt, kan man for eksempel plassere prosjektet på et underlag bestående av et todimensjonalt kart. Dette beskrives i detalj, og i dette eksempelet bruker vi Google Earth for å opprette det todimensjonale bildet av området. Selve metoden er generell og kan brukes for å importere alle todimensjonale bilder. Resultatet vises i figur 8, og fremgangsmåten beskrives under.



Figur 8: Prosjekt før og etter importering av kart som grunnlag.

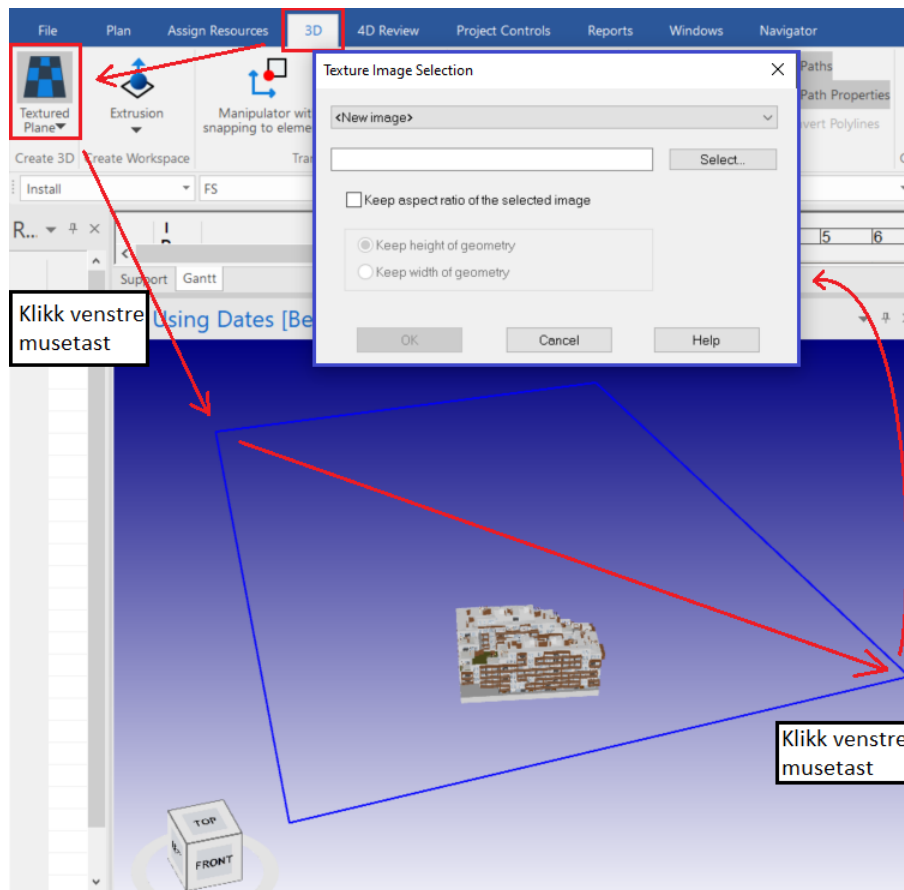
1. Gå i Google Maps, Google Earth, eller bruk en annen kartside. Finn området og lagre et bilde av det som skal importeres til Synchro. Her er dette gjort ved å benytte utklippverktøyet i Windows 10 (eng: Snipping Tool), se figur 9. Her er prosjektets område merket i den røde boksen.



Figur 9: Utklipp fra Google Earth

2. I Synchro: 3D-fanen, bytt fra Box til Textured Plane i nedtrekksmenyen (eventuelt høyreklikk i 3D-visningen → Create → Textured Plane). Lag en boks som er større enn hele fotavtrykket til bygget

ved å klikke utenfor fotavtrykket, flytt musepekeren og klikk igjen. Da skal hele bygget være innenfor firkanten som er opprettet.



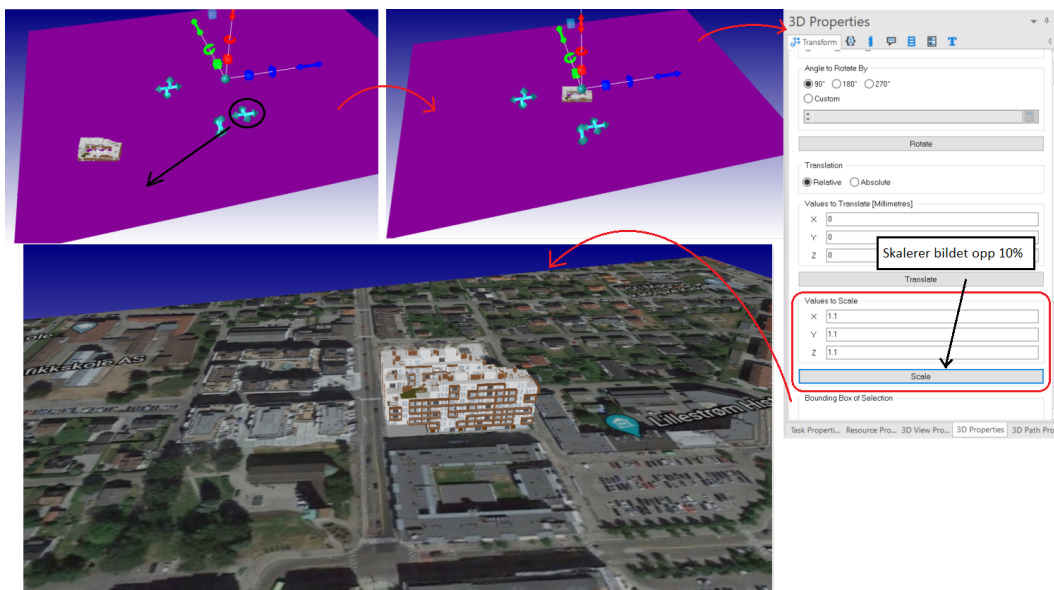
Figur 10: Lage textured plane

3. I Texture Image Selection vinduet som dukker opp: Velg det lagrede bildet av området. Huk av for «keep aspect ratio of the selected image». Deretter klikk OK. I neste vindu navngir man bildet, feks Underlag_kart → OK. Deretter kommer Resource Wizard-vinduet opp. Her passer alternativet «Assign to a new resource», ressurstype kan settes til «location», og til slutt velge «Assign to this resource, don't build tree».
4. Nå er bildet importert i Synchro, men det ligger sannsynligvis på feil sted, og er heller ikke i riktig skala i forhold til bygget. Se figur 11.



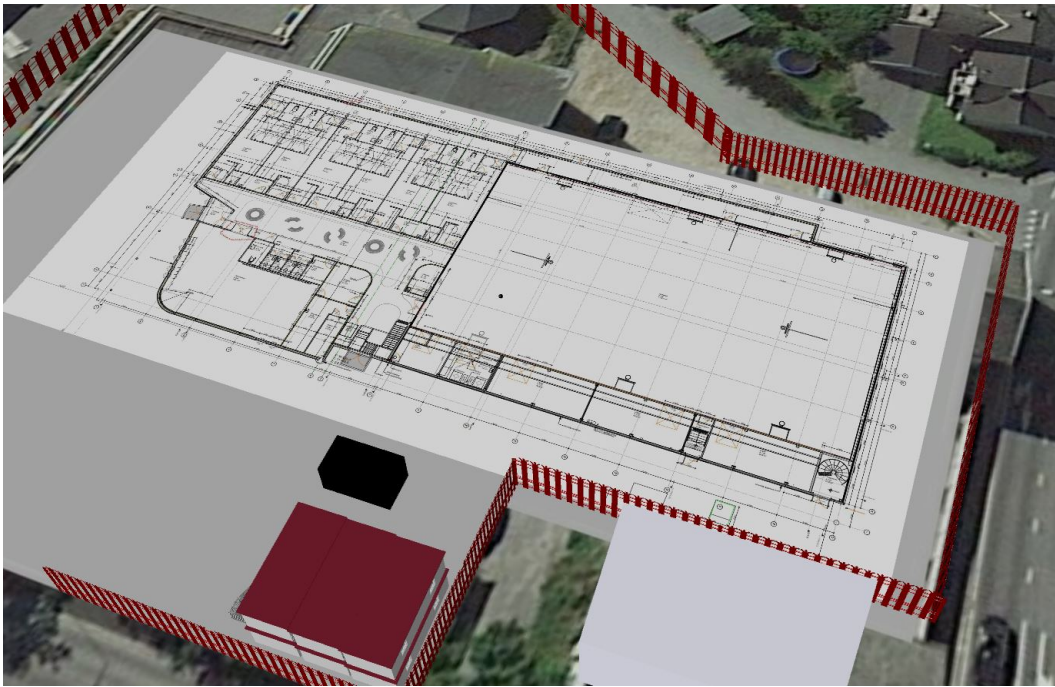
Figur 11: Kart ligger feil plassert i forhold til bygget.

5. For å tilpasse plasseringen av bildet: Trykk på ressursen (bakken / bildet) → Ctrl + B (dette åpner den avanserte manipulatoren) for å redigere til riktig sted, høyde (z-verdi), rotasjon osv. For å skalere, marker ressursen (trykk på bakken / bildet), gå til 3D Properties, skalér alle opp/ned eksempelvis 10% frem til området passer. Se figur 12.



Figur 12: Flytte og skalere kartet.

Denne metoden fungerer med alle bilder, hvilket betyr at man kan bruke hva man vil som underlag. Videre bruk av denne teknikken kan være å legge en plantegning av bygget der det skal oppføres. Et eksempel på dette er vist i figur 13, der *både* kart og plantegning er inkludert.



Figur 13: En byggeplass der det både er lagt inn et kart av området, i tillegg til en plantegning av det

5 Importere utstyr og maskiner

Rigg- og logistikkplanlegging er en av de mest kjente fordelene ved å benytte seg av 4D BIM. I tillegg til å ta inn modeller (bygninger, landskap osv.), kan man også importere utstyrmodeller som lastebiler, byggekraner, stillas osv. Man kan også tilegne bevegelser til disse objektene, og vil dermed kunne simulere f.eks vareleveranser, se kapittel 12 om 3D paths for mer info. Dette kan være nyttig for å planlegge for en så effektiv byggeplass som mulig, mtp laste / losse soner, inn-/ utkjøringsveier o.l. Synchro har et eget utstyrsbibliotek med en del modeller som er tilgjengelig for nedlastning (Help → Equipment library). 3D-modeller kan også lastes ned fra andre kilder, som <https://3dwarehouse.sketchup.com>. Hvis en har et byggeprosjekt i nærheten av et kjent bygg, så kan en fra denne siden laste ned en 3D-modell av dette bygget for å få mer virkelighetsnære prosjekter.

5.1 Importere utstyrsmodeller

Generelt anbefales alternativene «Assign to a new resource», legg til som utstyrsressurs og «Add resources underneath, don't build tree», da beholder man utstyret som et enkelt element. Se kapittel 6 for hvordan man kan redigere størrelse og plassering til importerte modeller/objekter.

5.2 Appearance profile for utstyr

Utstyr er noe man gjerne kan se på som midlertidig på en byggeplass. Synchro har en forhåndsdefinert appearance profile som heter «temporary»: Ved å bruke denne vil utstyret vises som blått under hele tiden det er aktivt. Dette er ikke alltid ønskelig, for eksempel kanskje man heller ønsker at utstyret skal vises i sin originale farge eller lignende. Dette kan da tilpasses under «Appearance Profiles» og det kan ofte være

greit å lage noen tilpassede profiler for utstyr. Disse kan opprettes og tilpasses i Navigator → Appearance Profiles.

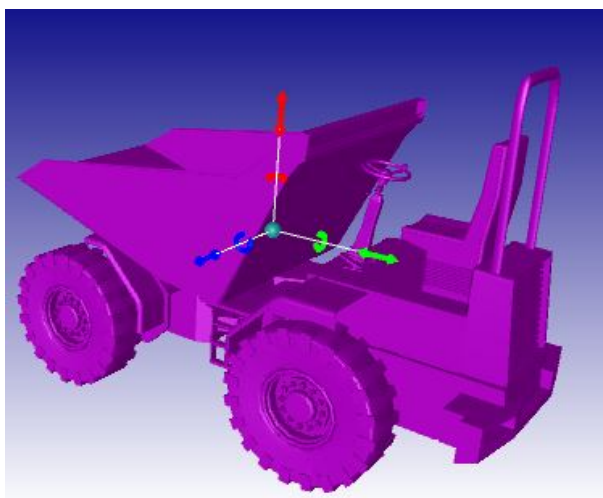
5.2.1 Koble utstyrmodeller til aktiviteter

Utstyrressursene som er importert må kobles til en aktivitet for at de skal bli synlige i 3D-visningen. Dette gjøres på samme måten som man knytter materielle ressurser til aktiviteter. Hvis man har en stor aktivitet, og utstyret skal kun være synlig en viss del av tiden aktiviteten pågår, kan det være aktuelt å opprette en ny aktivitet som er tiltenkt utstyret (f.eks ha en egen aktivitet som heter «tårnkran» eller lignende).

6 Redigere 3D objekter

6.1 Flytte og rotere objekter (Simple Manipulator)

Ved dette alternativet har man mulighet til å endre plassering og rotasjon. Kan aktiveres ved å velge objektet, høyreklikke i 3D visningen, velge edit og simple manipulator. se figur 14 for visning av mulighetene man har. Ved å dra de ulike pilene som går langs aksene, vil man endre posisjonen i en retning av gangen. Ved å justere pilene som er rotert rundt aksene, vil man rotere objektet om gitte akse. Ved å flytte boksen som ligger i origo i aksesystemet, kan man flytte objektet langs alle aksene samtidig. Det er ofte enklest å holde kontroll over forflytninger når man flytter objektet langs en akse av gangen.



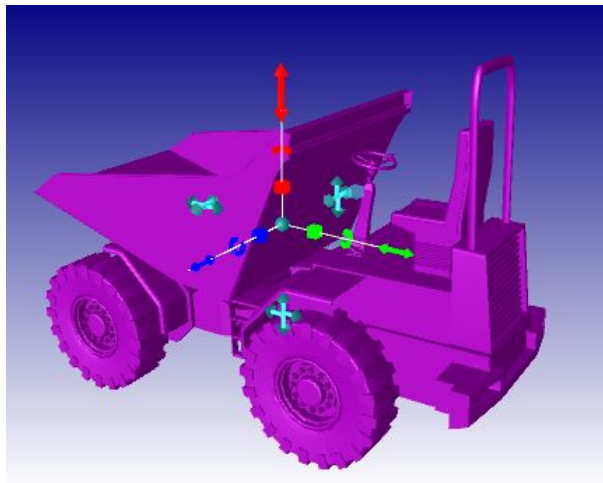
Figur 14: Redigering av 3D objekter ved bruk av «simple manipulator».

For å endre størrelsen på pilene: Options → 3D View → Manipulator. For å skalere objektet, sørg for at objektet er valgt → velg 3D properties → «Transform»-fanen → bla ned til «Values to scale», hvor man kan endre skaleringen. Ved f.eks å sette Z-verdien til 1,1 også scale, vil størrelsen øke med 10% i z-retning for hver gang.

6.2 Flytte, flytte langs plan, rotere og skalere (Advanced Manipulator: Ctrl + b)

Kan aktiveres ved å velge objektet, høyreklikke i 3D-visningen → Edit → Advanced Manipulator, eller ved hurtigtast Ctrl + b når objektet er valgt. Ved å benytte denne funksjonen får man noen flere muligheter. Dette gjelder:

- Man kan flytte objektet langs de ulike planene. Dette indikeres med de lyseblåpilene som krysser hverandre og som ikke ligger langs noen av aksene, se figur 15. Denne er nyttig når man ønsker å flytte objektet langs to akser samtidig, men *ikke* ønsker å endre en av planposisjonene. F.eks hvis man vil endre et objekt sin posisjon oppå et dekke, vil man ved å bruke denne være sikker på at det beholder samme z-verdier.
- Boksene som ligger mellom rotasjonspilene og origo kan dras langs deres respektive akser. Dette skalerer objektet i den gitte retningen. Det er også en lyseblå boks som kan brukes for å skalere objektet i alle retninger samtidig.



Figur 15: Redigering av 3D objekter ved bruk av «advanced manipulator».

6.3 Redigere objekter som allerede er koblet til aktivitet (Edit as Assigned)

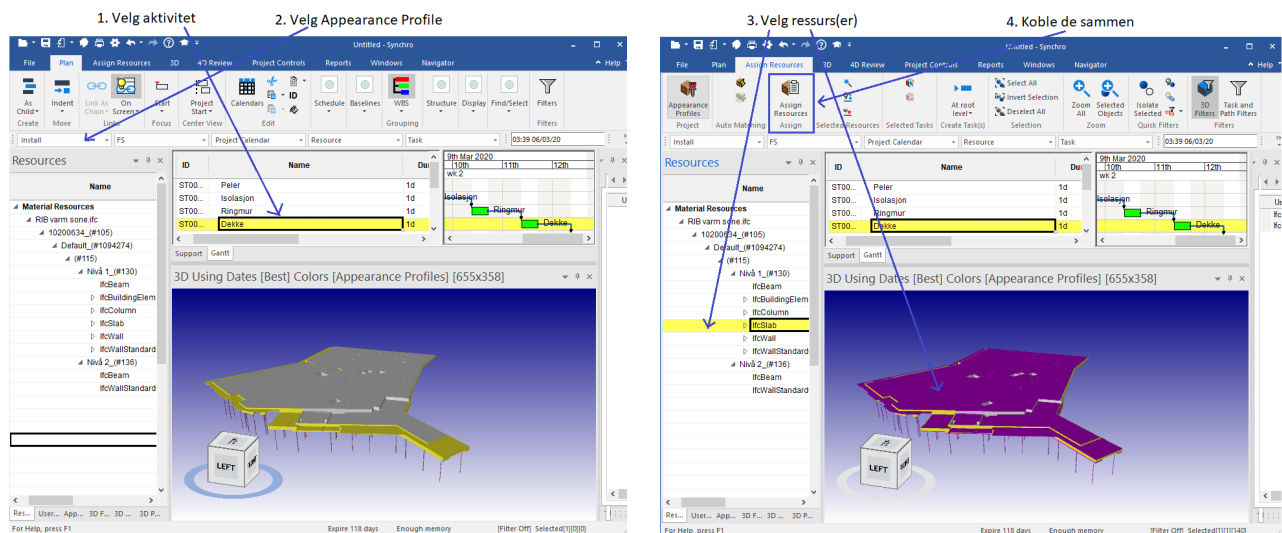
Etter objekter er koblet til aktiviteter, kan de redigeres ved at man bruker funksjonen «Edit as Assigned», fremfor Edit. Da kan man også variere plasseringen, rotasjonen, eller skaleringen for objekter separat for hver av aktivitetene det er koblet til (*etter* at den allerede er koblet til aktiviteten). Dette kan gjøres på en annen måte ved å først bruke Edit, for så å tilegne objektene til hver aktivitet separat.

7 4D koblingsprosess - lenke ressurser til aktiviteter

Selve kjernen i 4D BIM er kobling mellom modell og fremdriftsplan. Dermed blir modellen styrt av fremdriftsplanen, og 3D-visningen gjenspeiler den. Koblingen av aktiviteter i fremdriftsplanen og objekter i modellen følger en generell og ganske enkel prosess:

1. Velg aktiviteten(e) som skal kobles.
2. Velg «Appearance profile», hvordan visningen av ressursen skal fremstå før, under og etter aktiviteten.
3. Velg aktuelle ressurs(er).
4. Koble de sammen.

Se et eksempel på hvordan man kan utføre denne prosessen for et betongdekke i figur 16.



Figur 16: Eksempel på 4D koblingsprosess mellom objekter og aktiviteter.

7.1 Velge ressurser

Man kan velge ressurser ved å markere dem i 3D-visningen (ved å klikke på de en etter en, eller ved å markere alt innen spesifiserte områder), eller ved å markere ressursene i ressurs-treet. Når man skal markere alt innen et spesifisert område (firkantet), holder man nede Shift-knappen → klikker på det første hjørnet → beveger musepekeren diagonalt til den andre siden av firkanten og klikker igjen. Ut ifra hvilket hjørne man starter og slutter i, blir resultatet ulikt:

- Fra øvre venstre hjørne, til nedre høyre: Alle objektene som er inni boksen (bare de som er synlige), inkludert kantene til boksen, markeres.
- Fra nedre høyre hjørne, til øvre venstre: Alle *hele* objekter som er inni boksen (bare de som er synlige), markeres. Det vil si at hvis man må lage en større boks enn størrelsen på objektene som skal markeres, ettersom hele objektet må være innenfor kantene.
- Fra øvre høyre hjørne, til nedre venstre: Alle objektene som er inni boksen, eller som rører kantlinjen til boksen (*både* synlige objekter og de som er gjemt grunnet f.eks 3D-filter eller bak andre objekter), markeres.

Når ressurser er markert, vises de som lilla (standard) i 3D-vinduet (se figur 16). Man kan styre hva som vises i 3D-visningen ved å benytte 3D-filter, dette kan forenkle markeringsprosessen av ressursene dersom de velges fra 3D-visningen. *Same as Task* filter begrenser 3D-visningen til de objektene som er koblet til aktiviteter. 3D-filter funksjonen kontrollerer bare visningen av 3D-objekter. Hvis man fjerner merkingen av et objekt i filteret, er det ikke lenger synlig (men det er fortsatt lastet inn i minnet). Hvis man fjerner merkingen av et objekt i 3D Objects fanen, vil det derimot fjernes fra minnet (RAM) *samtidig* som det ikke vises i 3D vinduet.

7.2 Kontrollere, undersøke, evaluere koblinger

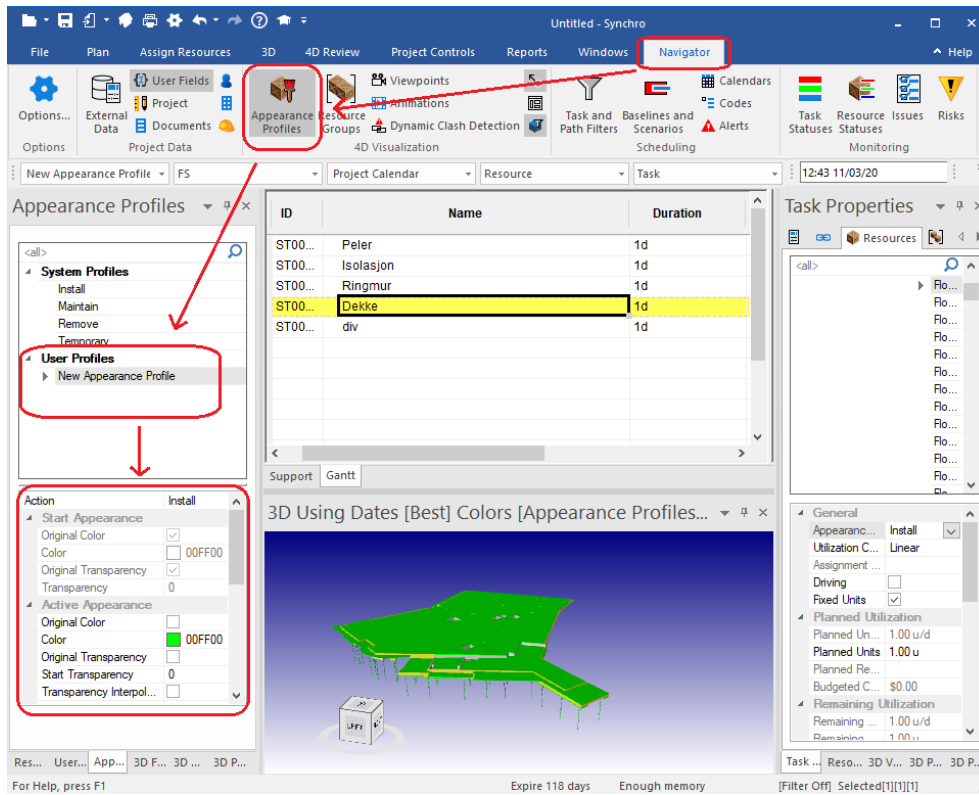
Ved å klikke på en ressurs i 3D-vinduet, → høyreklikk i 3D-vinduet → Select Assigned Task(s), så finner man hvilken aktivitet(er) som er koblet til det valgte objektet. Man kan også finne det ved å gå inn i Resource Properties → Tasks.

7.3 Appearance profiles - hvordan aktiviteter vises i modellen under gjennomføring

Dette gir retningslinjer for hvordan en ressurs skal opptre visuelt før, under og etter den pågår i fremdriftsplanen. Her kan man for eksempel styre hvilken farge den skal ha i de ulike fasene, sette vekstretninger, gjennomsiktighet osv. Når man har koblet aktivitet og ressurs sammen, vil man ved å dra fokustidslinjen «gjennom» tidsrommet for gjennomføring av aktiviteten, se hvordan det vil se ut i simuleringen. Da kan man ut ifra det vurdere om man er fornøyd med den Appearance profilen som er satt. Hvis man ikke er fornøyd med profilen som er satt, kan man endre den: Velg aktiviteten i planen, gå til Task Properties → Resources-fanen og velg den ønskede Appearance profilen. For at det skal fungere, må ressursen(e) tilknyttet aktiviteten være markert samtidig (for eksempel kan man høyreklikke på aktiviteten og velge Select Assigned Resources).

8 Tilpasse Appearance Profile

I Synchro har man muligheten til å tilpasse hvordan ulike objekter skal fremstå før, under og etter installasjon. Man kan velge ulike farger, hvilke retninger de skal vokse og lignende. Synchro har noen standardprofiler man kan velge: Install, Remove, Temporary, Maintain. For å lage egne, skreddersydde Appearance profiler: Navigator-fanen → Appearance Profiles → høyreklikk under de standard profilene og velg add → deretter tilpasses profilen til ønsket utseende (i den nederste røde boksen i figur 17). Her har man mange ulike valgmuligheter, og noen presenteres her.



Figur 17: Opprette en ny, tilpasset Appearance Profile

8.1 Transparency interpolation

Her kan man endre et objekts transparens i løpet av aktiviteten. For eksempel kan objektet starte som 100% gjennomsiktig, og etterhvert som aktiviteten pågår minke gjennomsiktigheten gradvis til feks 0% når aktiviteten er fullført. Dette gjør at hele objektet blir gradvis mer og mer synlig ettersom aktiviteten pågår, frem til det er helt synlig når aktiviteten er ferdig.

8.2 Vekstsimulering

Man kan definere hvordan objektet / gruppen av objekter skal vokse etterhvert som aktiviteten pågår og etterhvert som mer og mer av det planlagte arbeidet blir utført. For eksempel kan man sette et helt dekke som én felles ressurs, for så å gi det vekstretning ventre → høyre, for å simulere støperetning fra venstre mot høyre. Hvis dekket i utgangspunktet er modellert som mange små objekter, vil dette potensielt spare mye tid ved at man slipper å tilegne hvert element tidsinformasjon.

Man kan også lage egne vekstretninger som ikke er bundet av eksisterende akser (feks «left-to-right») ved å bruke Cutting Planes. Sett opp et Cutting Plane, gi det et navn og legg det til som en Custom Appearance Profile. Justér Cutting planet som du vil, og så trykk «Use As Growth Direction». Hvis man da velger "Custom" i Appearance Profile-innstillingene, vil dette planet brukes som vekstretning. Beskrivelse av hvordan man setter opp egendefinert Cutting Plane som vekstretning:

1. Sett opp et Cutting Plane; trykk på X/Y/Z og rotér slik man vil ha det.

2. Navngi planet: 3D View Properties → fane: Cutting Plane → høyreklikk og Rename.
3. Når man er fornøyd med planet man har satt opp → klikk «Use As Growth Direction» nederst i 3D View Properties (vekstretningen blir fra den siden av planet som er synlig og mot den usynlige siden).
4. Gå til Appearance Profile: Høyreklikk (under User Profiles) → Add → under Growth Simulation må man velge Custom.
5. Hvis man endrer planet litt senere, så må man trykke på «Use As Growth Direction» på nytt for å oppdatere.

8.3 Gruppere objekter for vekst

Hvis man vil at flere objekter skal vokse sammen som ett felles objekt, og ikke hver for seg individuelt, kan man gruppere de sammen. Dette kan gjøres hvis man for eksempel ikke vil lage en aktivitet for hvert enkelt pelehode, men simulere en samlet vekst fra høyre mot venstre for én aktivitet. Da må man gruppere alle pelehodene til samme ressurs før man kobler de til aktiviteten (med en Appearance Profile som har høyre-venstre vekst). Merk alle pelehodene → Resource Wizard → Assign To A New Resource → Assign To This Resource, Don't Build Tree.

Pelehodene vil da grupperes som en enkelt ressurs. Hvis man får opp et Unassignment-vindu, huk av for «Unassign og Finish». Videre kobler man ressursene til aktiviteten. Ved å åpne Resources-vinduet finner man den på toppen, fordi nye opprettede ressurser legger seg automatisk på toppen av «treet». Man kan likevel dra det herifra inn til riktig nivå igjen hvis man ønsker. Man kan også slette de tidligere ressursene og kun beholde den nyopprettede felles ressursen hvis man ønsker det (høyreklikk på dem og velg slett). For å endre Appearance Profile på ressursen: marker aktiviteten → åpne Task Properties-fanen: Resources og endre Appearance Profile der.

9 Lage nye aktiviteter

Primært så er import av en ekstern fremdriftsplan det som skal gjøres oftest. Synchro lar likevel brukeren legge til og fjerne aktiviteter direkte i programvaren, samt oppdatere koblinger mellom dem.

9.1 Sette inn nye aktiviteter manuelt

Hvis man har en aktivitet som man ønsker å dele opp i undergrupper (for eksempel gjøre «Dekkestøp» til «Dekkestøp del 1» og «Dekkestøp del 2»), kan man lage ny aktivitet «As Child». Hvis man i stedet lager ny aktivitet ved å velge «Below», så blir ikke den nye aktiviteten en under-aktivitet, men den blir på samme nivå som den aktiviteten man har markert. Hvis Dekkestøp del 1 og del 2 skal følge hverandre, må de lenkes sammen. Velg aktivitetene → Plan-fanen → Link as Chain (dette gjøres i den lille fanen *under* de øvrige fanene, og i nedtrekksmenyen velger man den avhengigheten aktivitetene skal ha. Det samme gjelder Appearance Profile). Når man lenker sammen aktiviteter, settes avhengigheten deres ut ifra rekkefølgen de velges før de lenkes de sammen. Man kan velge mellom avhengighetene FS (finish-start), SS, SF og FF. I Task Properties kan man inspisere og redigere avhengigheter, og her kan man også sette ytterligere avhengigheter som for eksempel FS + 2, og ikke bare FS, SS, SF eller FF. Etter at aktivitetene er koblet sammen, må planen oppdateres manuelt. For å gjøre dette, trykk F9 (eventuelt gå til Plan-fanen → Reschedule).

10 3D Subdivision - splitting av objekter direkte i Synchrono

Det er store ulemper dersom man ikke splitter objekter i programvare. Synchrono tilbyr funksjonen «3D Subdivision» for dette, og man kan dele importerte 3D-objekter i ulike deler. For eksempel hvis et betongdekk er modellert som ett enkelt objekt, og man har tre støpetapper i fremdriftsplanen, kan man dele dekket inn i tre deler som representerer hver etappe. På samme måte kan man dele søyler inn i ulike støpetapper/etasjer, for å slippe og måtte spørre den modellerende om å gjøre endringer i originalfilen. Når man splitter et objekt, lages de nye delene automatisk som egne objekter og ressurser, organisert under objektet og ressursen som ble delt, som «Subdivision X» (navnet kan endres i ettertid).

For å splitte et objekt til flere objekter: Marker objektet (klikk på det i 3D-visningen / klikk på ressursen / klikk på objektet i 3D-objekt-listen) → Subdivide (fra 3D fanen, eventuelt høyreklikk i 3D objekt-listen / høyreklikk i 3D-vinduet → Edit → 3D Subdivision). Da åpnes 3D Subdivision-vinduet. Her vises objektet som er valgt for splitting med en omsluttende, lilla boks. Det er tre ulike måter å dele/splitte på: «Slice», «User Slice» eller «Freehand», og de forklares under. Etter man har splittet objektet med et av alternativene kan man lukke 3D Subdivision-vinduet, gå tilbake i 3D-visningen → Trykk på Esc-knappen. Nå skal objektet være splittet og de nye objektene, som også har blitt tilegnet som ressurser, kan kobles til ulike aktiviteter i planen.

Slice

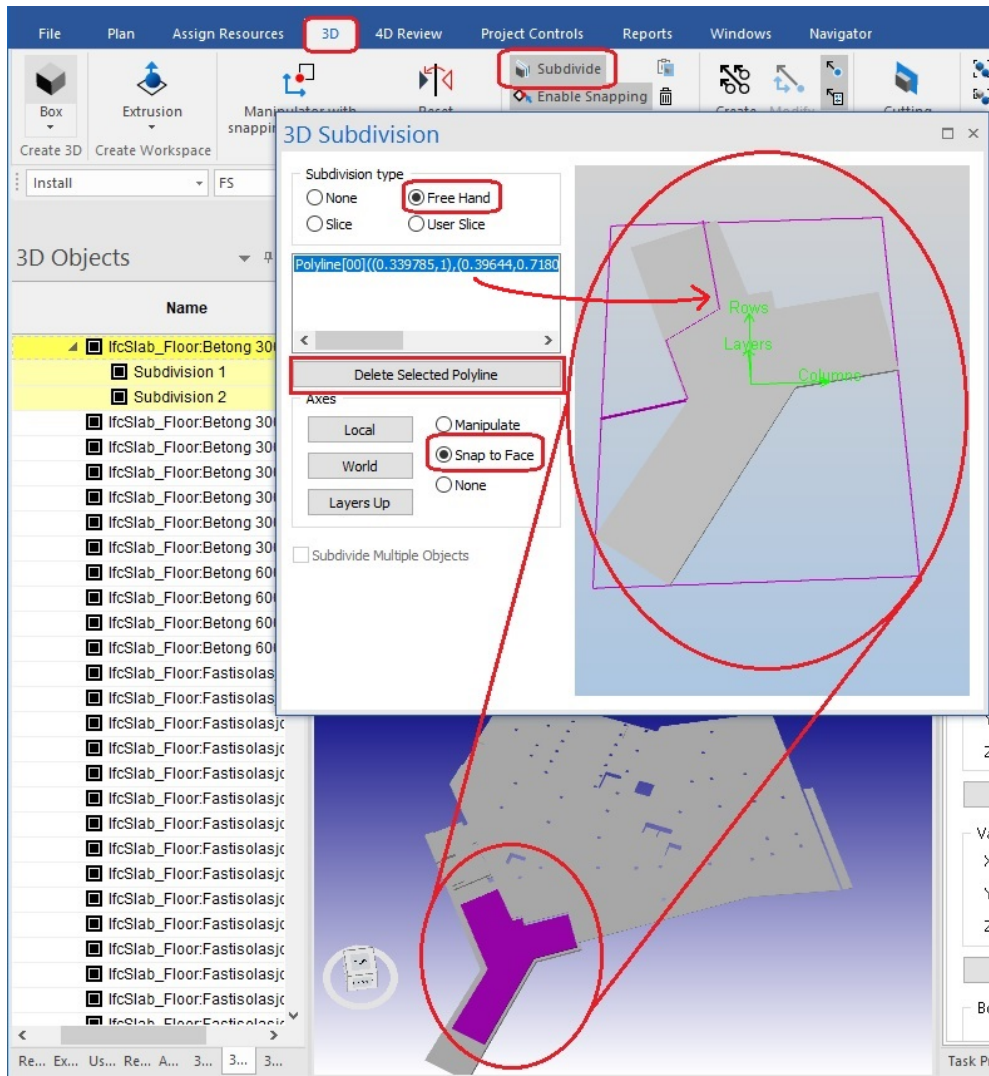
Deler objektet inn i ortogonale og like store plan (columns, rows, layers). Man definerer hvor mange kolonner, rader, nivåer man vil ha. Man kan endre retningene på planene, men ikke størrelsen.

User slice

Deler også i ortogonale plan, men størrelsen på hver del kan justeres som en andel av totalen. Retningene kan også tilpasses. Denne er altså litt mer fleksibel enn Slice.

Freehand

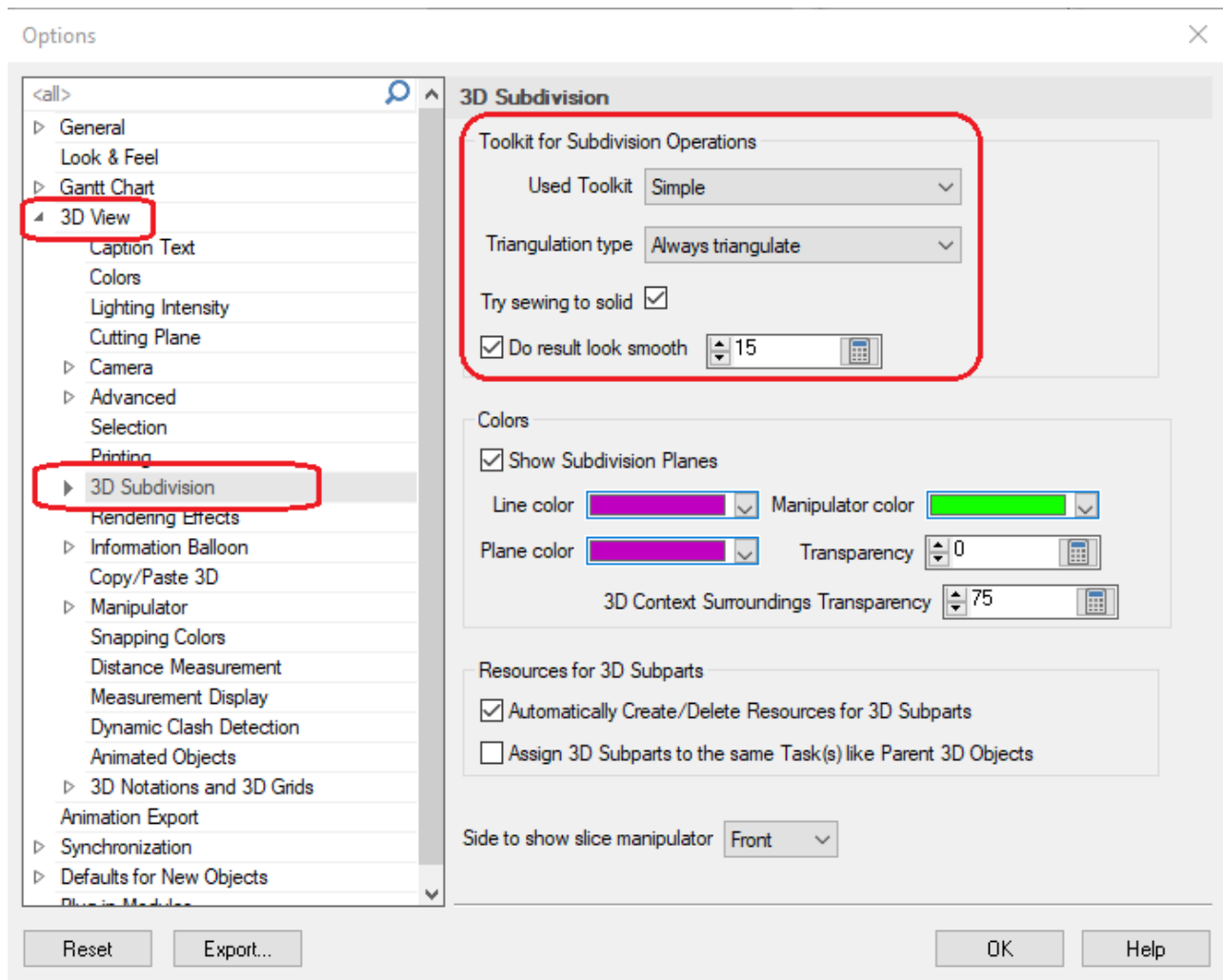
Her defineres planene av brukeren som selv tegner streker (polylines) for å definere dem. Velg objektet → 3D Subdivision → Freehand (ofte lurt å aktivere «snap to face»). Dette gjøres ved å høyreklikke i 3D-visningen, velge «Enable Snapping» og sette «Snap to Face». Deretter høyreklikk i 3D Subdivision-vinduet og velg «Create Subdivision Polyline» (det kan være lurt å trykke på top/bottom/right/left i visningskuben først hvis man ønsker å se det f.eks rett ovenifra). Trykk på en kant, fortsett å klikke på videre punkter for å tegne linjen. Avslutt linjen ved å trykke på en kant. Dersom man har avsluttet en linje som man ikke er fornøyd med, kan man markere polylinjen og slette den, se figur 18. Deretter kan man høyreklikke for å lage ny(e) polylinje(r).



Figur 18: 3D Subdivision med Free Hand.

10.1 Problemer med 3D Subdivision

Hvis et objekt forsvinner eller opptrer på en uønsket måte når man utfører 3D Subdivision, kan det være grunnet innstillingene som er satt. Åpne innstillingene som vist i figur 19 (File-fanen → Options → 3D View → 3D Subdivision). Deretter gjelder det å prøve seg litt frem, og se hva som gir et greit resultat. Man kan endre «Used Toolkit» mellom *advanced* og *simple*, endre «Triangulation type» mellom *triangulate* og *don't triangulate*, og man kan aktivere/deaktivere «Try sewing to solid». Ifølge Synchro sin veiledningsfil vil disse fungere varierende i ulike filer, og det kan derfor være greit å prøve seg litt frem for å finne de innstillingene som gjør 3D Subdivision går best mulig.



Figur 19: Innstillinger for 3D Subdivision.

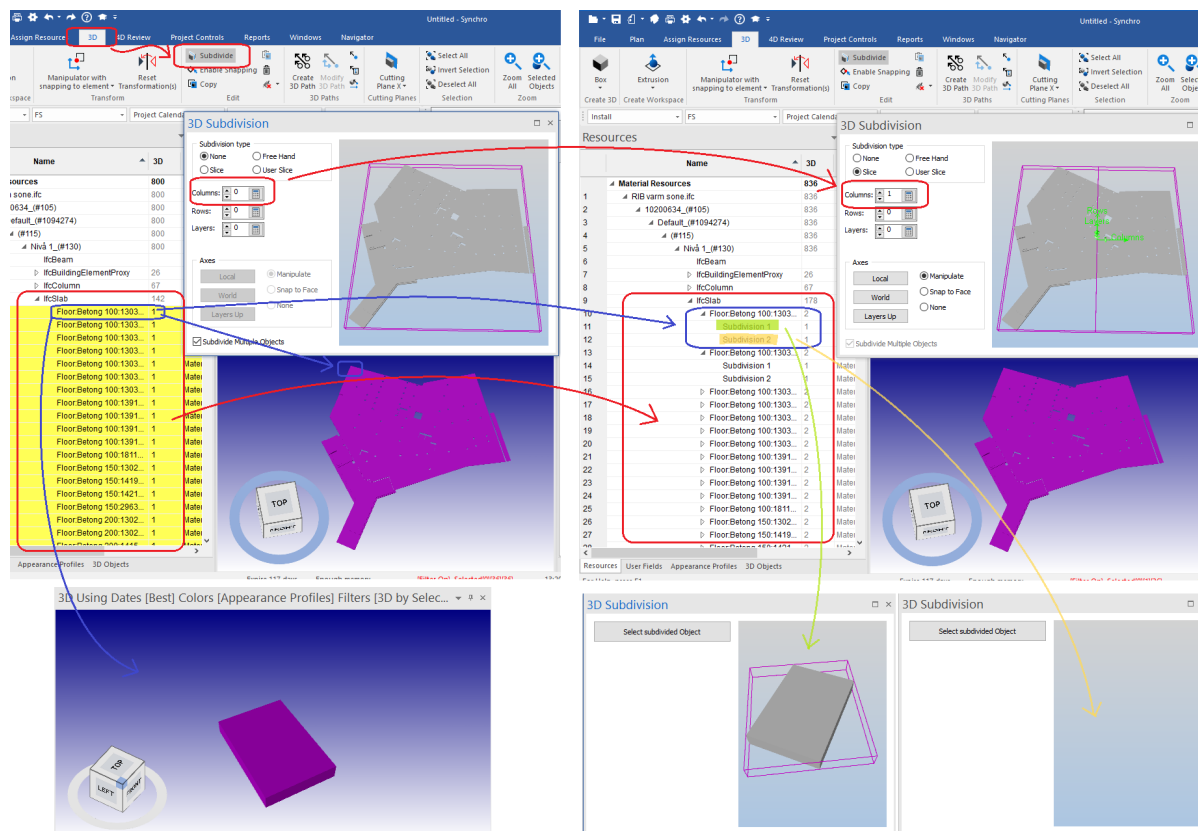
10.2 Redigere subdivision

For å redigere de splittede objektene: Sett fokuslinja til aktiviteten skal være avsluttet, velg subdivide, marker et av objektene som ble delt i 3D-vinduet, klikk på «Select subdivided object» når det kommer opp i 3D Subdivision-vinduet. Hvis man velger «none» som subdivision type, så fjerner man all oppdeling. Hvis man reduserer antall deler, så får man en advarsel om det var med hensikt, og må trykke ja hvis dette er tilfellet.

10.3 Subdivide flere objekter

Funksjonen gir også muligheten for å splitte flere objekter samtidig. For eksempel hvis man ønsker å ha lik splitting av dekkene i flere etasjer, eller hvis man vil splitte mange søyler etter etasje. For å gjøre dette; velg objektene i 3D-vinduet og iverksett 3D subdivision, aktiver «Subdivide multiple objects», da vil man se en lilla boks som omfavner alle objektene som er valgt for splitting (hvis subdivide multiple objects ikke aktiveres, vil kun det objektet som ble valgt først kunne splittes. De andre valgte objektene vises med en viss grad av transparens og fungerer som referanseobjekter). Hvis man skal dele etter etasjer, kan man feks bruke slice / user slice for å dele inn. «Layers up» burde da velges.

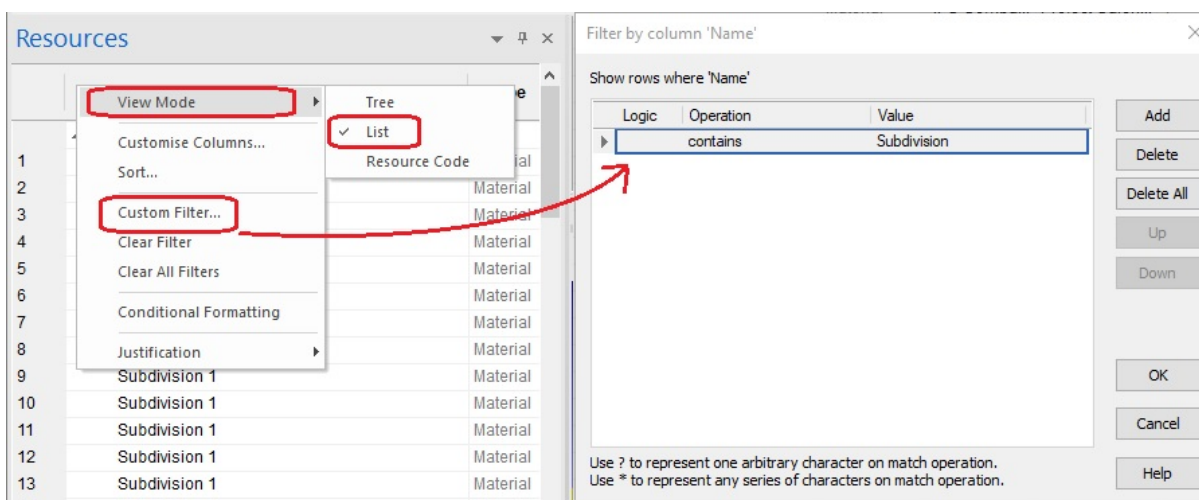
Merk: 3D subdivision *deler* eksisterende **3D-objekter**, og ikke **ressurser**. Det opprettes allikevel (med mindre man har slått av denne innstillingen) nye ressurser som korresponderer til de nye delene av 3D objektet. Det er viktig å holde kontroll på hva som deles når man skal splitte objekter. Hvis man har et dekke som består av mange ulike objekter (og ressurser), men ønsker å samle det til f.eks to ulike deler: Da vil det ikke fungere kun å markere alle delene samtidig, for så å splitte med en felles linje, som vist i figur 20. Hvis man velger alle delene samtidig, for så å splitte med en felles linje, vil alle de individuelle objektene splittes med utgangspunkt i linja som er satt. figur 20 viser hva som skjer hvis man gjør det på den måten. Her er alt som tilhører betongdekket valgt samtidig og splittet i to kolonner (Columns-funksjonen). Da vil *hvert enkelt objekt* splittes. Splittingen reflekteres også i ressursene, og fører til opprettelse av nye ressurser «Subdivision 1» og «Subdivision 2» (se hva som skjer med ressurs «Floor:Betong 100:1303...» som er i den blå boksen på figuren). Hele objektet som danner «Floor:Betong 100:1303...»-ressursen ligger i dette tilfellet til venstre for den lilla linjen som er grunnlag for splittingen. Når objektet splittes i delene Subdivision 1 og 2, vil derfor den ene delen ikke ha noen geometri. Det deles fortsatt i to ressurser, hvor kun den ene av ressursene faktisk har en 3D-representasjon. Alle objekter splittes altså i to deler der alt som er til venstre for linja havner i «Subdivision 1», og alt til høyre for linja i «Subdivision 2». Dette gjelder også selv om hele objektet ligger til venstre for linja, da vil «Subdivision 2»-objektet ikke ha noen 3D-representasjon, men allikevel få en ressurs.



Figur 20: Hva som skjer hvis man utfører 3D Subdivision når man har valgt flere objekter samtidig.

Hvis man har et dekke som består av mange ulike objekter og ressurser, som man ønsker å tilegne to ulike støpeaktiviteter kan man allikevel bruke denne metoden som grunnlag. Det kan da gjøres slik:

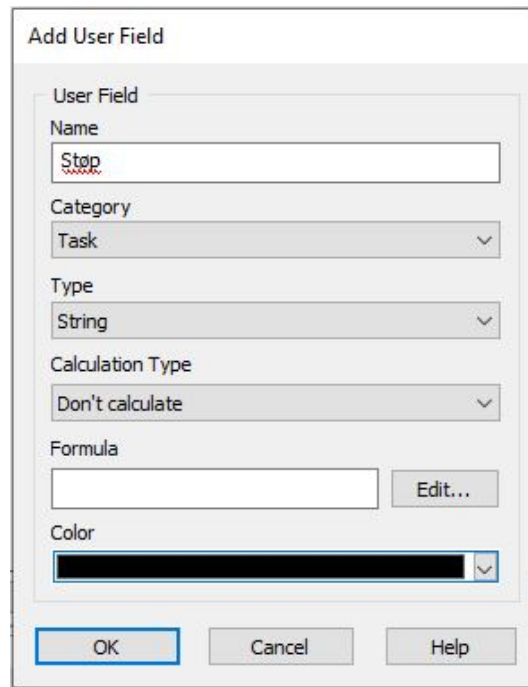
1. Dele hele dekket som vist over i figur 20. Da vil det opprettes to ressurser (Subdivision 1 og Subdivision 2) for hvert 3D-objekt (alle delene (subdivisionene) vil ikke nødvendigvis ha en 3D-representasjon).
2. Deretter kan man knytte ressursene til aktivitetene i planen. Dette kan gjøres på mange måter, for eksempel:
 - (a) Manuell markering og kobling: Markere hver ressurs og koble til aktivitetene. Dette kan være svært arbeidskrevende hvis det er mange Subdivisions.
 - (b) Benytte et filter i ressurs-treet for å markere ressursene (anbefalt), for så å koble dem sammen: Ved å filtrere på navn i ressurs-treet kan man enkelt velge alle som heter Subdivision 1 og 2. For å gjøre dette: Gå til Resources → høyreklikk i kolonneoverskriften «Name» og følg figur 21. Når man velger View Mode → Task List, får man ressursene under hverandre uten å ha med hierarkiet, som gjør det enklere å velge flere samtidig (velg øverste, hold inn SHIFT-knappen og velg nederste).



Figur 21: Filtrere på navn

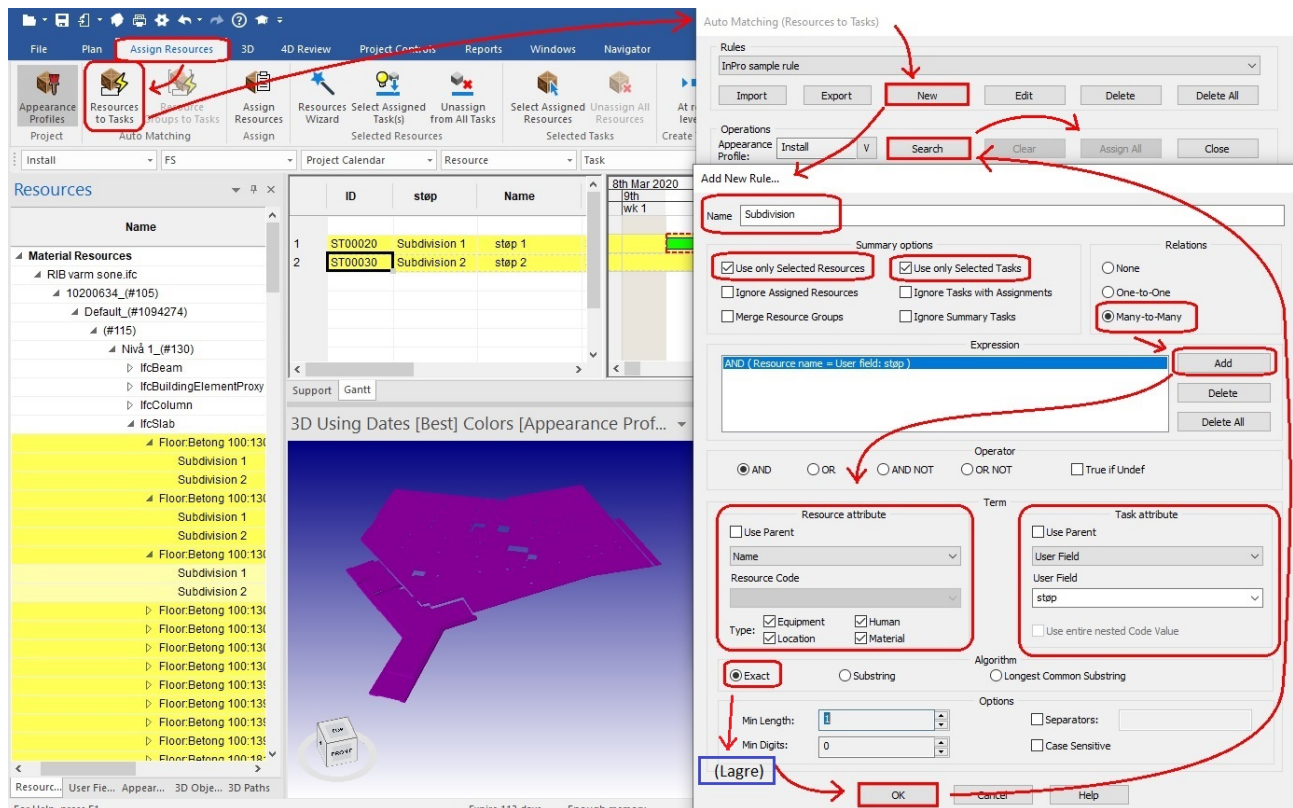
- (c) Automatisk koble dem sammen (automatching):

Dette kan gjøres direkte ved å benytte funksjonen «Automatching» ved å sette ressursnavn = aktivitetsnavn. Dette kan gjøres dersom man navngir de ulike aktivitetene til «Subdivision 1» og «Subdivision 2». Hvis man ikke har like navn, kan man gjøre det ved å opprette et User Field (brukerfelt) for aktivitetene, som brukes til å automatise. Åpne Navigator-fanen og aktiver «User Fields», deretter høyreklikk i User Field → Add, og legg inn detaljene om brukerfeltet. Det kan være som i figur 22 (Category = Task) fordi det skal knyttes til aktivitetene, Type = String fordi det er *navnet* som det skal refereres til. I eksempelet er brukerfeltet kalt «støp».



Figur 22: Opprette User Field

- i. Høyreklikk øverst i aktivitetslisten, velg «Customize Columns», bla ned til «User Fields» → klikk på det nyopprettede brukerfeltet («støp» i eksempelet) og dra det inn til høyre side (Selected Columns) → klikk ok.
- ii. I aktivitetslisten velger går man i brukerfeltet som er lagt til («støp»), og skriver inn verdiene «Subdivision 1» og «Subdivision 2»
- iii. Automatch: Marker ressursene som dekket er bygget opp av (inkludert subdivision-delene), og aktivitetene de skal kobles til. Assign Resources-fanen → Resources to Tasks. Da dukker vinduet for automatching opp. Velg «New», lag navn (her Subdivision), huk av for «Use only selected resources» og «Use only selected tasks» (for å være sikker på at det f.eks ikke inkluderes andre ressurser som heter det samme). Under «Expressions»: Add → Resource Attribute settes til «Name» da det skal kobles med hensyn til ressursens navn (Alle objekter som ligger til venstre for linja som ble satt i figur 20 har nå navnet Subdivision 1). Task Attribute velges til «User Field», med det valgte brukerfeltet fra nedtrekksmenyen. Her kan «Exact» brukes som algoritme da navnene er identiske. Velg Save → OK for å lukke. Deretter kommer man tilbake til «Auto-Matching»-vinduet. Klikk «Search» og verifiser at koblingene blir slik man ønsket, velg til slutt «Assign all».



Figur 23: Auto matching

Når alle «Subdivision 1» er valgt, kan disse tilegnes en felles ressurs vel å benytte Resource Wizard (Ctrl+Shift+R). Denne ressursen kan f.eks kalles «Støp 1», plasseres under «Slab» i hierarkiet, og kobles til korresponderende aktivitet. Deretter kan man slette alle ressursene som heter «Subdivision 1», dette vil gi et mer oversiktlig ressurs-tre samtidig som dette er veldig viktig hvis man senere ønsker å synkronisere fra oppdaterte modeller.

PS: Når man subdivider 3D objekter, så lages de nye objektene med navn Subdivision 1,2 osv. Dette gjelder også ressursene, altså de nye ressursene som opprettes får like navn. Dette MÅ endres dersom man vil ha muligheten for å synkronisere oppdaterte modeller i etterkant. Ressursene må ha unike navn, hvis ikke vil senere synkronisering av oppdaterte modeller ikke fungere!

10.3.1 Hvordan unngå like navn på ressurser når man har subdividet

Hvis man vil endre navnene på ressurser, kan dette gjøres på mange ulike måter. Blant annet manuelt, eller ved bruk av «Script»-funksjonen (den siste er noe viderekommen).

Manuelt (anbefalt hvis det er få ressurser man skal endre navn på):

Høyreklikk på ressursen, velg «Rename» og gi ønskede navn. På denne måten må man endre hver enkelt ressurs individuelt, så det kan bli tidkrevende hvis det er mange navn som skal endres.

Ved å bruke script funksjonen (anbefalt hvis man skal endre mange ressurser samtidig):

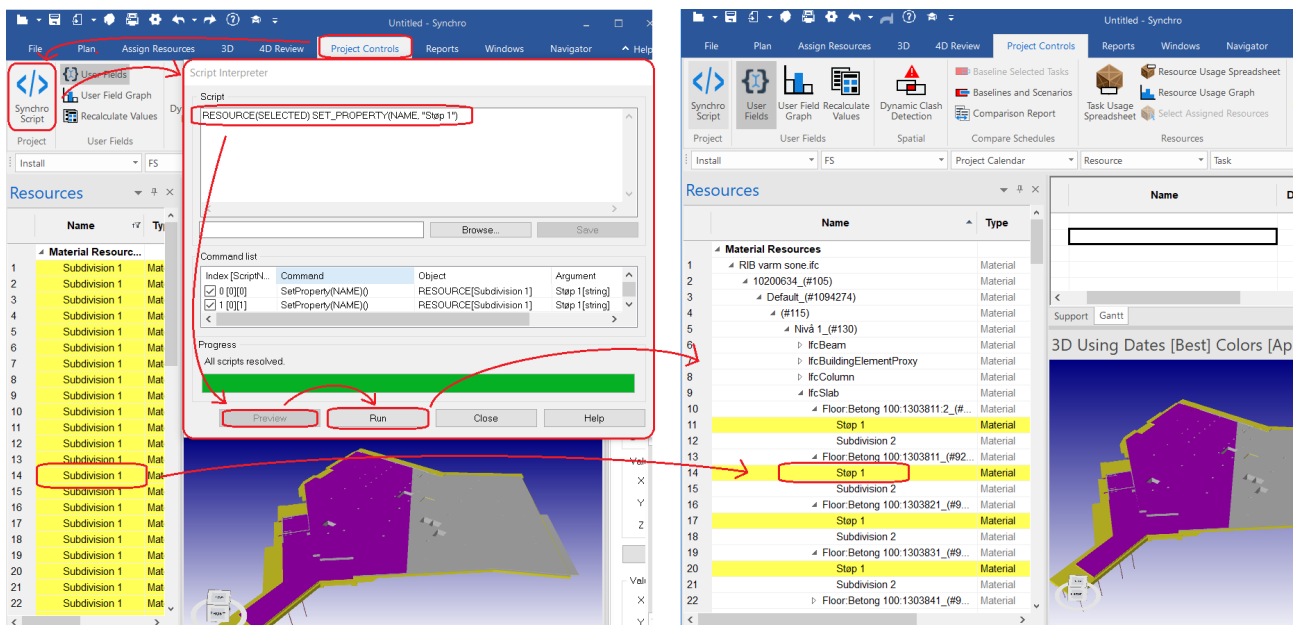
Synchro har en skriptfunksjon som gjør at man kan lage diverse skript for å automatisere kalkulering og

oppdatering av verdier i modellen. Det gjelder blant annet verdier som varigheter, status, navn, koblinger og User Field-verdier. For å få dette til å fungere, må man bruke korrekt syntaks (se HELP i Synchro for informasjon om syntaks). For å åpne skriptfunksjonen: Gå til Project Controls-fanen → Synchro Script.

I tilfeller hvor man har mange ressurser med navnet Subdivision 1 eller lignende som man ønsker å tilegne et felles navn (forskjellig fra Subdivision 1), eller en felles User Field-verdi, kan denne funksjonen være nyttig! Eksempler på skript som kan brukes i disse tilfellene vises under (viktig å markere ressursene før man kjører disse scriptene for at de skal fungere):

- RESOURCE(SELECTED) SET_PROPERTY(NAME, "New Name")
- RESOURCE(SELECTED) SET_PROPERTY(NAME, UFV("3D User Field"))

Se figur 24 for hvordan man kan endre ressursenes navn fra Subdivision 1 til Støp 1. Dette gir forøvrig gode muligheter til å auto-matche ressursene til aktivitet ved å bruke en regel som er forhåndslagt i programvaren: Resource name = Task Parent Name (gitt at aktiviteten heter Støp 1)



Figur 24: Hvordan endre ressursnavn ved å bruke script.

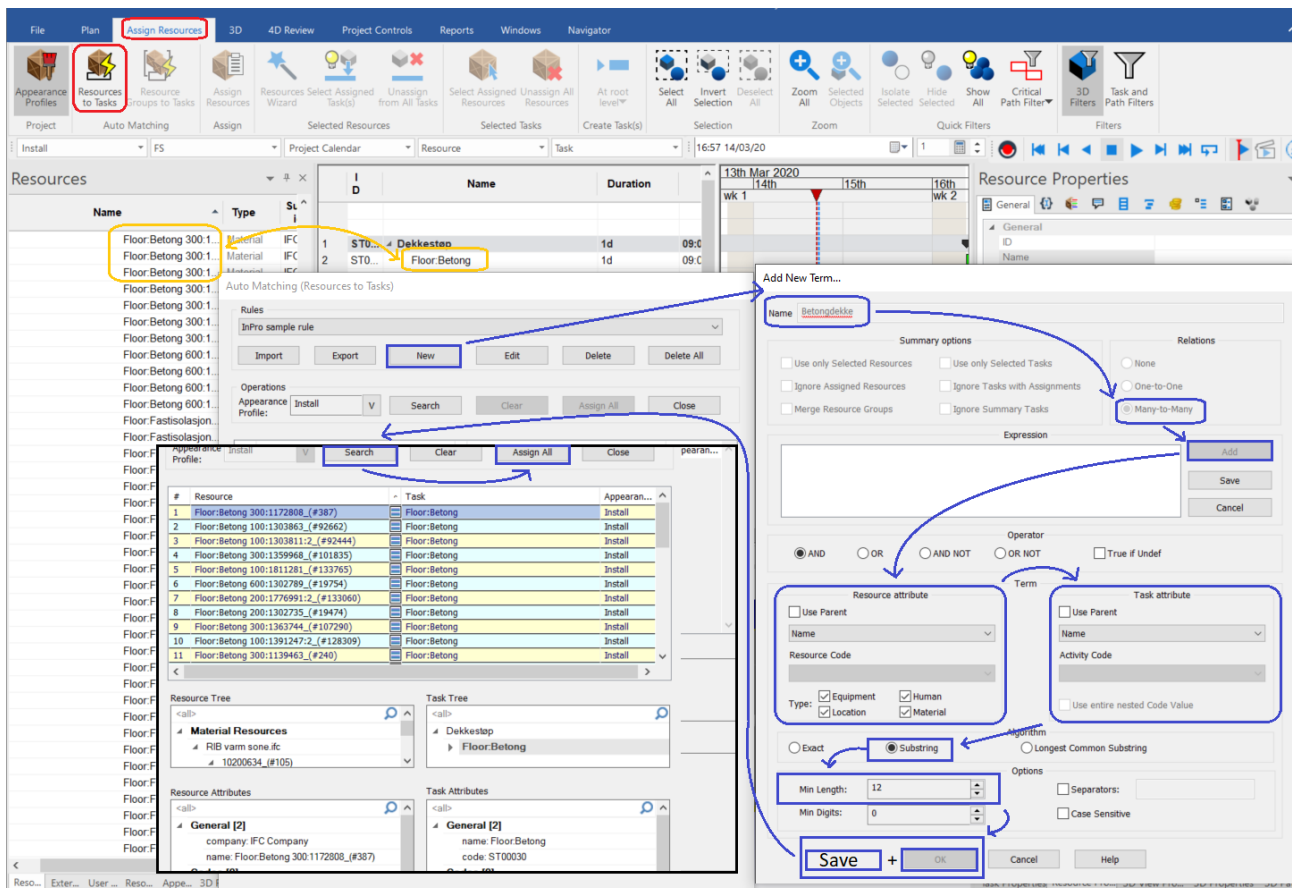
11 Auto-matching - automatisk koble sammen objekter og aktiviteter

Når man utarbeider en 4D BIM-modell kan det å koble sammen ressurser og aktiviteter manuelt, en-og-en, ofte være en tidkrevende prosess. Synchro har en funksjon, auto-matching, som kan redusere arbeidsmengden betraktelig da denne muliggjør automatisk kobling av ressurser og aktiviteter. Koblingen kan basere seg på ressursens navn (Resource Names), brukerfelt (User Fields), aktivitetnavn (Task Names), ID, kommentarer (Comment) eller aktivitetskoder (Activity Codes). Tidligere er auto-matching noe omtalt, se blant annet et eksempel i figur 23, men i dette kapittelet forklares det nærmere. For å kunne auto-matche, så behøver man verdier og parametre i ressursene, samt i aktivitetene som programvaren kan gjenkjenne, for så å lage

regler for hva som skal kobles sammen.

11.1 Lage regel for auto-matching og utføre auto-matching

For å utføre auto-matching: Assign Resource-fanen → Resources to Tasks. Da får man opp Auto Matching-vinduet. I dette vinduet kan man velge mellom forhånds-lagede regler, importere regler, bruke regler til å søke og lignende. I eksempelet (se figur 25) heter ressursene som betongdekket består av «Floor:Betong ...». Dette kan brukes som grunnlag for auto-matching. I eksempelet ble navnet i fremdriftsplanen satt til å være «Floor:Betong», og planen er at man skal matche ressurser og aktiviteter som har «Floor:Betong» som en del av navnet. I og med at det er kun en del av navnet som er likt, kan vi ikke matche på eksakt likt navn, men velger å lage regelen til at navnet i ressursen og aktiviteten må ha minimum 12 like tegn etter hverandre for å sammenkobles. Lagre regelen og velg OK. Da kommer man tilbake til vinduet for Auto matching; sørg for at den nyopprettede regelen er valgt, og klikk på «Search». Da vises alle resultatene som kommer når Synchro søker med den aktuelle regelen, og her kan man undersøke om den gir det ønskede resultatet. Man kan også klikke på ressursene og aktivitetene for å se mer info om dem. Hvis alt ser greit ut, velg «Assign All» for å utføre alle koblingene.

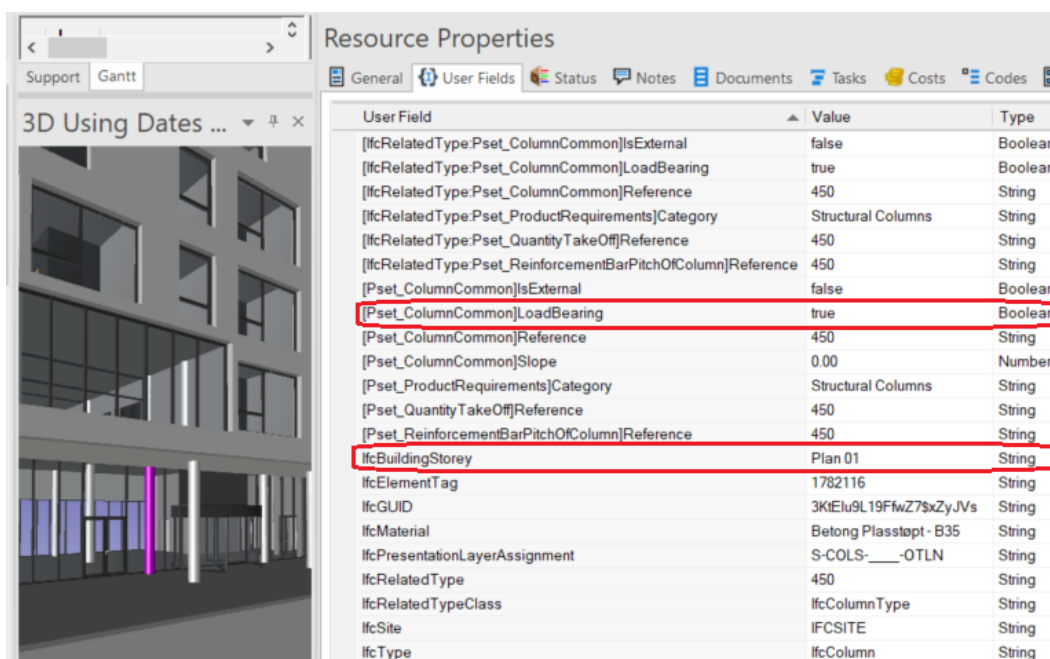


Figur 25: Lage regel for og utføre Auto-matching.

11.2 User Fields og hvordan det kan brukes for auto-matching

Her forklares hvordan man kan auto-matche ved å benytte brukerfeltverdier (user fields) som grunnlag. brukerfelt er tilpassede områder for å spore eller filtrere informasjon tilhørende aktiviteter, ressurser og 3D-objekter som ikke gjenkjennes automatisk av Synchro. User Fields kan lages når man importerer en plan, eller 3D-modell, som har tildelt visse parametre i originalfilen(e). Man kan benytte importerte brukerfeltverdier (marker ressursen/aktiviteten og studer Resource / Task Properties for å se hvilke verdier som er lagt inn), eller man kan opprette egne. Når man oppretter regelen for auto-matching kan man da benytte User Field-verdier istedenfor for eksempel «Name», som ble benyttet i figur 25.

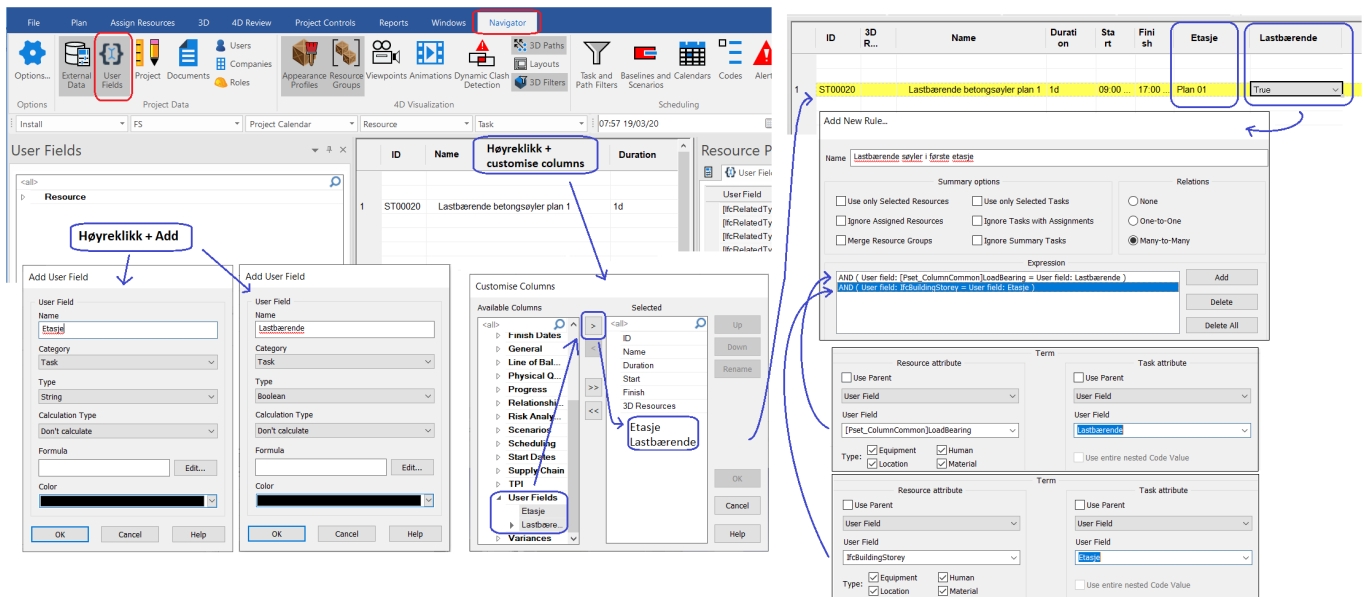
Hvis man har funnet eksisterende User Field-verdier i ressursene som man ønsker å benytte for auto matching, kan man tilegne tilsvarende User Field-verdier til aktiviteten(e) i planen for å sammenkoble dem. I figur 26 vises et eksempel på hvilke verdier en søyle kan være assosiert med. Her er planen å koble søylen til aktiviteten «lastbærende betongsøyler i plan 1» ved å bruke User Field-verdiene som er i de røde boksene på figuren.



User Field	Value	Type
[IfcRelatedType:Pset_ColumnCommon]IsExternal	false	Boolean
[IfcRelatedType:Pset_ColumnCommon]LoadBearing	true	Boolean
[IfcRelatedType:Pset_ColumnCommon]Reference	450	String
[IfcRelatedType:Pset_ProductRequirements]Category	Structural Columns	String
[IfcRelatedType:Pset_QuantityTakeOff]Reference	450	String
[IfcRelatedType:Pset_ReinforcementBarPitchOfColumn]Reference	450	String
[Pset_ColumnCommon]IsExternal	false	Boolean
[Pset_ColumnCommon]LoadBearing	true	Boolean
[Pset_ColumnCommon]Reference	450	String
[Pset_ColumnCommon]Slope	0.00	Number
[Pset_ProductRequirements]Category	Structural Columns	String
[Pset_QuantityTakeOff]Reference	450	String
[Pset_ReinforcementBarPitchOfColumn]Reference	450	String
IfcBuildingStorey	Plan 01	String
IfcElementTag	1782116	String
IfcGUID	3KiElu9L19FfwZ7sxZyJVvs	String
IfcMaterial	Betong Plaststøpt - B35	String
IfcPresentation.LayerAssignment	S-COLS-___-OTLN	String
IfcRelatedType	450	String
IfcRelatedTypeClass	IfcColumnType	String
IfcSite	IFCSITE	String
IfcType	IfcColumn	String

Figur 26: Eksempel på User Field-verdiene til en søyle.

Her har ressursen allerede tilegnede User Field-verdier som vi ønsker å bruke. De samme verdiene må tilegnes til aktiviteten for at disse kan sammenkobles automatisk. Se figur 27, samt beskrivelse under for eksempel på hvordan man kan legge User Field-verdier til en aktivitet og auto-matche til tilsvarende User Field-verdier i ressursen.



Figur 27: Eksempel på Auto-matching ved å bruke en søyles User Field-verdier.

For å legge til nye user fields: Navigator-fanen → User Field: Det åpner seg da opp et vindu på venstre side, høyreklikk i dette og velg add man kan også legge inn formler for dette, med bakgrunn i verdier som baserer seg på aktiviteten, ressursen, dens egenskaper eller andre user fields. Se Synchro HELP for syntaks). I dette tilfellet ønsker vi å legge User Fields til aktivitetene, velg derfor Task under Category. Når man ønsker User Fields som baserer seg på skriftlig informasjon, velg «String» under Type. Velg «Boolean» når det er snakk om sant/usant (som er tilfellet for lastbærende). Se figur 27 for å se verdiene som er brukt i eksempelet. Det opprettede brukerfeltet kan legges inn i aktivitets-oversikten ved å tilpasse kolonnene og visningen (høyreklikk øverst i aktivitetsvinduet og velg Customise columns, legg så til begge brukerfeltene). Videre kan man skrive inn det man vil auto-matche basert på inn i ruten for brukerfelt i aktivitetsvisningen. Her er det skrevet «Plan 01» i «Etasje»-brukerfeltet og «Lastbærende»-brukerfeltet er satt til å være «True». Task User Field kan også defineres i Task Properties → User Fields → høyreklikk og velg «Add value». Da legges det til en ny rad, hvor man kan velge mellom ulike tidligere definerede brukerfelt, og også skrive inn verdien man ønsker å tilegne aktiviteten. Disse brukerfeltene kan man videre bruke for å auto-matche. Her er det benyttet to regler samtidig, og AND-operatoren ble brukt da den andre regelen to ble lagt til. Dette gjør at begge kriteriene må være oppfylt for at det skal gi match. Kriteriene som er brukt i reglene i dette eksempelet kan sees i figur 27.

12 Tilegne objekter bevegelser ved bruk av 3D Path

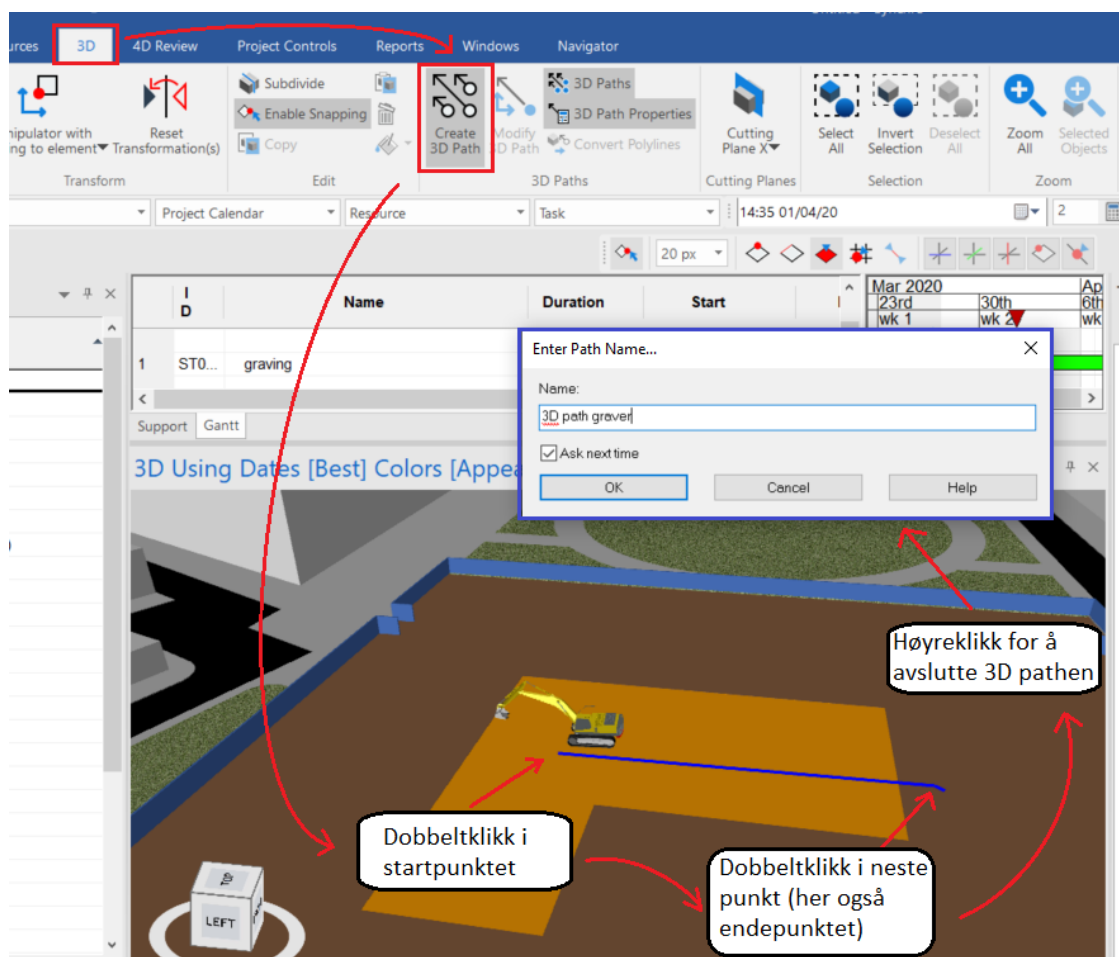
Man kan lage 3D Paths for å vise de planlagte bevegelsene til objekter, som feks maskiner. 3D Paths kan være litt forvirrende å få til, og man må gjøre det nøyaktig for at det skal fungere. Man kan lage 3D Paths på flere forskjellige måter. I det videre vil ulike aspekter ved 3D Paths beskrives ved bruk av flere eksempler. Generelt kan man si at en Path må opprettes og kobles til en ressurs som er koblet til aktivitet for at det skal fungere. Allikevel er det mange aspekter innen opprettelse av 3D Path, og de vil beskrives ved flere

eksempler. Eksempel 1 tar for seg en enkel og rask måte for å simulere en lineær bevegelse mellom to punkter, her ved en gravemaskin som skal utføre utgraving. Eksempel 2 tar for seg hvordan man kan opprette og redigere en mer avansert kjørerute, her ved en containerbil som skal skifte en avfallscontainer. Eksempel 3 viser en tårnkran som roterer mellom lastesoner og ulike soner på bygget.

12.1 Eksempel 1: Lineær bevegelse for gravemaskin

12.1.1 Lage 3D path

Trykk i 3D fanen → Create a 3D Path. I dette tilfellet er «snap to face» aktivert, da pathen skal følge overflaten. Beveg den grønne dotten/ musepekeren til der hvor 3D pathen skal starte, dobbeltklikk for å sette første punkt. Beveg til neste punkt og dobbeltklikk for å velge. Høyreklikk for å avslutte pathen. Høyreklikk i 3D-visningen → Visual Indicators → 3D Paths for å slå av/på visningen av 3D Paths. Se figur 28.

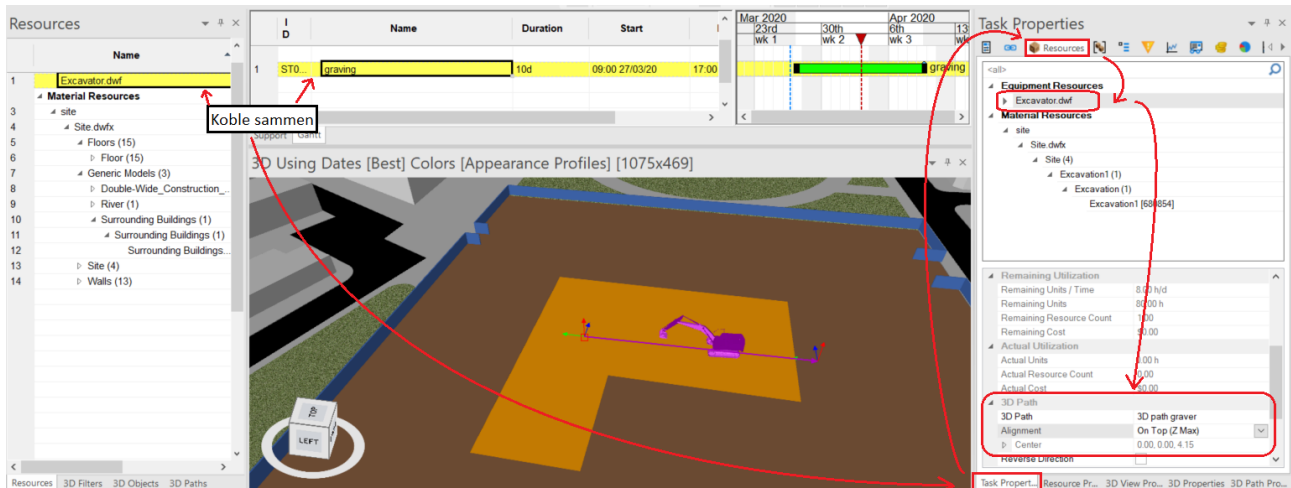


Figur 28: Lage 3D path.

12.1.2 Koble 3D Path til en ressurs

Når en 3D Path er laget, så må den knyttes til en ressurs (feks gravemaskin) som er knyttet til en aktivitet (feks graving). Når denne koblingen gjøres, vil ressursen (gravemaskinen) bevege seg iht pathen ild varigheten til aktiviteten. For å gjøre dette, følg stegene under (se også figur 29):

1. Velg ressursen (maskinen), og koble til aktiviteten.
2. Velg aktiviteten, gå i Task Properties → resources.
3. Bla nederst i ressurs-treet og finn den aktuelle ressursen (maskinen). I dette tilfellet kan vi se i figuren at aktiviteten er koblet til både en materiell ressurs (selve jorda som skal graves vekk) og utstyrsressursen (gravemaskinen) som vi koblet sammen i første steg. Her er det maskinen som skal tilegnes bevegelsen som er opprettet i 3D pathen, så dermed er det den som skal velges. Da ender man med resultatet som vises i figur 29, hvor maskinen følger pathen. I dette tilfellet kan det være ønskelig at jorda fjernes samtidig som gravemaskinen beveger seg bortover. Dette kan ikke gjøres ved å koble jorda direkte til 3D pathen, da vil hele ressursen flyttes. Man kan derimot tilegne appearance profile til jorda (f.eks remove med vekstretning fra venstre til høyre).
4. scroll ned i Task Properties → resources fanen og finn 3D Path, endre denne til det som den aktuelle 3D Pathen ble kalt.
5. Her kan man også gi den Allignment (feks on top (Z max) for en gravemaskin som skal følge toppen av pathen, her var snap-to-face aktiv da pathen ble opprettet og dermed vil allignment on top i dette tilfellet samsvare med overflaten).
6. Dra fokustiden gjennom aktiviteten for å se hvordan ressursen beveger seg etterhvert som aktiviteten pågår.



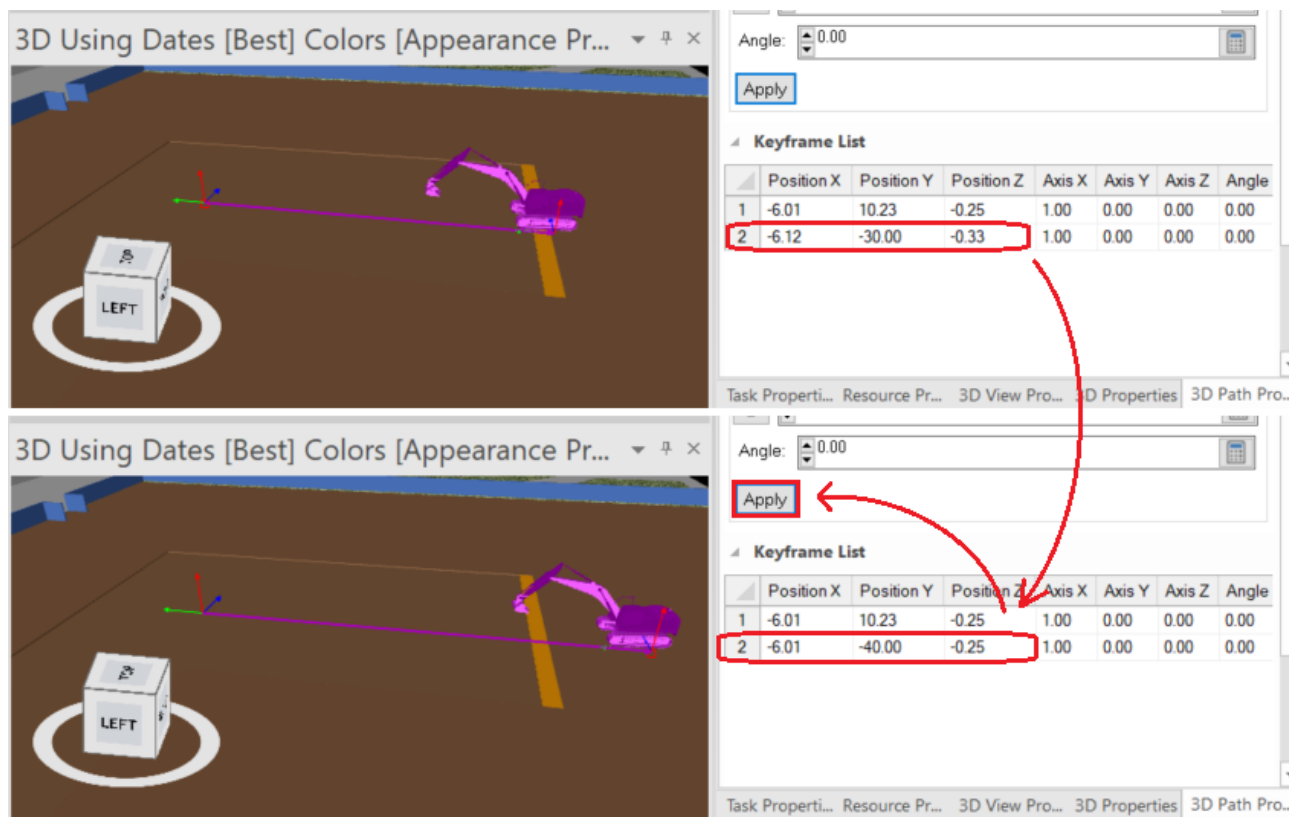
Figur 29: Koble sammen 3D Path med ressurs.

12.1.3 Redigere 3D Path

Ethvert punkt man definerer når man oppretter en 3D Path lagres som et keyframe med koordinater som kan endres i etterkant. Åpne 3D Path properties for å bla mellom de ulike keyframes'ene. Keyframe 1 definerer startposisjonen og hvis man bare har to punkter vil keyframe 2 referere til slutt punktet. Koordinatene og rotasjonen til de ulike punktene kan endres i listen. Navigering og endring i keyframes fungerer best når aktiviteten, ressursen og pathen er merket samtidig.

I dette tilfellet skal maskinen bevege seg langs Y-aksen. Dermed kan x og z verdiene være identiske i

keyframe 1 og 2. Dette kan gjøres ved å kopiere verdiene fra 1 til 2 når man blar mellom de ulike, eller ved å gå i keyframe list og skrive inn verdiene der. Man kan også endre en 3D path ved å velge "modify 3D path"(høyreklikk i 3D paths → modify eller høyreklikk i 3D vinduet → edit → modify 3D Path). Da får man opp en 3D Path Manipulator som man kan flytte rundt i visningen, da vil koordinatene til keyframesene oppdateres automatisk. Se figur 30 for en slik oppdatering av koordinatene til en 3D path. Her ble bevegelsen endret til å følge Y-aksen, samt ble endringen i verdiene på y-aksene gjort for å tilpasse maskinens bevegelse til farten på utgravingen av massene.



Figur 30: Redigere koordinatene til en 3D path.

12.2 Eksempel 2: Containerbil, ikke-lineær kjørerute med flere punkter

Her skal kjøreruten til en containerbil som skal skifte en avfallscontainer simuleres:

1. Opprett en aktivitet for bytting av container. Importer en containerbil og knytt denne til aktiviteten.
2. Høyreklikk i 3D-visningen → Create → 3D path.
3. Sørg for at «snap to face» er aktivert da ruten skal følge overflaten. Dobbelklikk i startpunktet, beveg musepeker til punkt 2 og dobbeltklikk, beveg til punkt 3 og dobbeltklikk, beveg til punkt 4 og dobbeltklikk, osv... til alle punktene er valgt. Høyreklikk for å opprette en 3D path av den valgte sekvensen av punkter.
4. Gå i Task Properties og koble 3D pathen til containerbil-ressursen, alignment kan være on-top (Z-max).

5. Nå følger bilen pathen, men ofte kjører den på en uønsket måte. Se eksempel i figur 31, hvor bilen kjører sidelengs i veibanen. Videre vil det forklares hvordan man kan ordne opp i slike ting.



Figur 31: Bilens bevegelse følger 3D pathen, men kjører sideveis.

For å fikse dette: Sørg for at pathen, ressursen og aktiviteten er valgt, gå i 3D path properties, velg keyframe 1, edit 3D Path, og juster bilens rotasjon (evt plassering også) i punktet, velg capture keyframe. Nå skal den være riktig i keyframe 1, altså stå i samme posisjon som over, men rotert iht til bevegelsesretningen. Men det er kun keyframe 1 som er endret, og bilen vil derfor rotere på veien til keyframe 2 for å tilfredsstill posisjonen og rotasjonsverdiene den har der, og derifra fortsette å kjøre med samme rotasjon som på bildet over. For å kopiere denne endringen (at den står i fartsretning) videre og få bilen til å gjøre retningsendringer i svingene, kan man gå til keyframe list, høyreklikke i en av verdiene tilknyttet keyframe 1 og velge «share directions from selected row to all keyframes by tangent». Dette er en kjapp og enkel måte å opprette kjøreruter på og fungerer bra når man har en kontinuerlig kjørerute, uten rygging. Se figur 32 for å se effektene av hvordan bilen vil kjøre en sving etter man har gjort dette.



Figur 32: Bilens bevegelse følger 3D pathen, samtidig som den følger tangenten til ruten.

I dette tilfellet var det ønskelig at bilen skulle rygge inn til containerplassen, se figur 33.



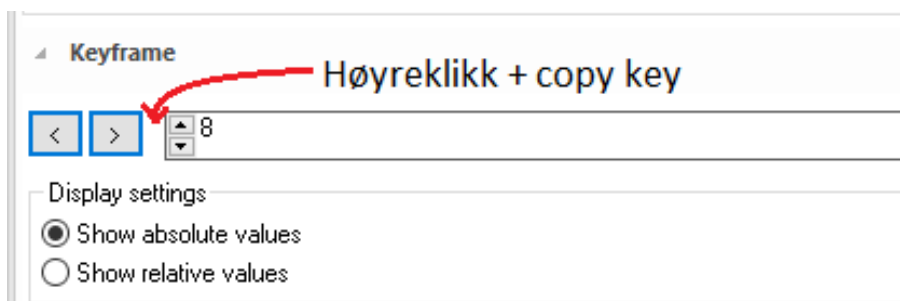
Figur 33

Ved å gjøre som beskrevet over, vil ruten hvor bilen kjører fremover fungere, men det blir kluss tilknyttet ryggingen. Retningsendringen ble opprettet i ett punkt (keyframe 9, se figur 33). For å prøve å holde tangenten begynner den å rotere for å snu allerede før dette punktet i Synchro, se figur 34. Mellom dette punktet (9) og neste snupunkt (hvor den skal begynne å kjøre fremover igjen, keyframe 13) blir det også mye «kluss» ved å benytte denne metoden. Dette skjer grunnet at bilen skal følge tangenten til ruten, men kan ordnes. I dette tilfellet er det snakk om noen enkelte punkter hvor bilen skal rygge (fra og med keyframe 9 og til keyframe 12).



Figur 34: .

Her ble det «rare» bevegelser og rotasjoner i og rundt vendepunktet. For å rette opp i det er det lurt å (ha path, ressurs og aktivitet valgt) velge edit 3D path, bla til keyframe 8. Verifiser at dette ser greit ut. Høyreklikk rett ved siden av 8 tallet (se figur 35), og velg copy key.

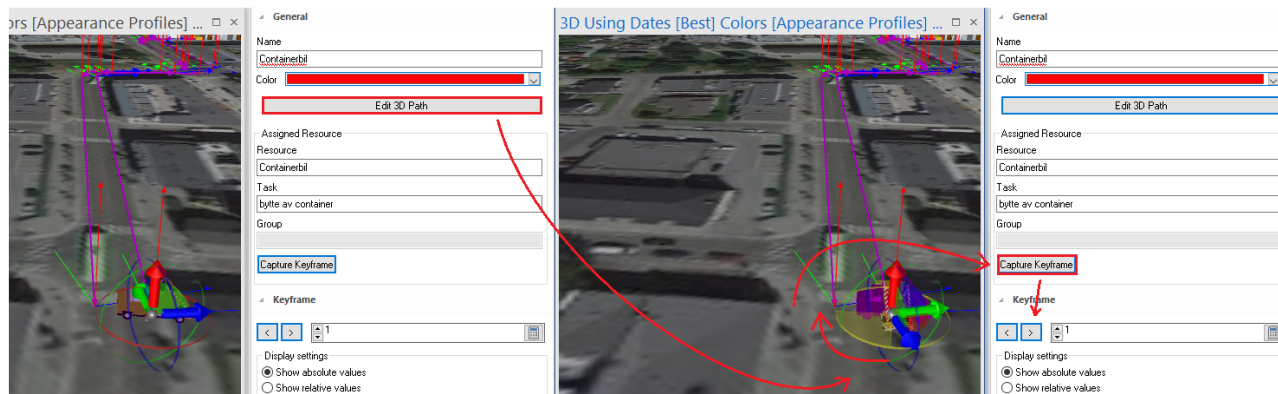


Figur 35

Deretter bla til keyframe 9, høyreklikk og paste (lim inn) rotasjonen som er kopiert, deretter kan man justere litt på denne hvis ønskelig. Deretter klikk capture keyframe. Deretter kan man gjøre det samme videre: kopiere keyframe 9 og lime inn dets rotasjonsverdier til keyframe 10, finjustere på nr 10 og velge capture keyframe. Gjenta til alle punktene som knyttes til ryggingen er justert. Verifiser at resten av ruten ser grei ut ved å dra fokustiden utover, hvis ikke kan man bla til keyframes som ikke er som ønsket, endre og velge capture keyframe.

Alternativt: Ikke velg «share directions from selected row to all keyframes by tangent». Da har man ut-

gangspunktet hvor bilen følger ruten, men ikke foretar rotasjoner underveis, som i figur 31. Fra dette utgangspunktet kan man bla til keyframe 1 i 3D path properties (husk at pathen, ressursen og aktiviteten skal være valgt), klikk edit 3D path, velg, rediger og capture keyframe individuelt for alle de ulike keyframes'ene. Se figur 36 for hvordan det gjøres i keyframe 1, deretter bla til keyframe 2, 3, 4 osv. Dette kan virke som en manuell og tungvinn måte, men i slike tilfeller som her, går det ganske kjapt da man har alle posisjonene og det eneste man må gjøre i hvert keyframe er å foreta en liten justering til rotasjonen i xy-planet.



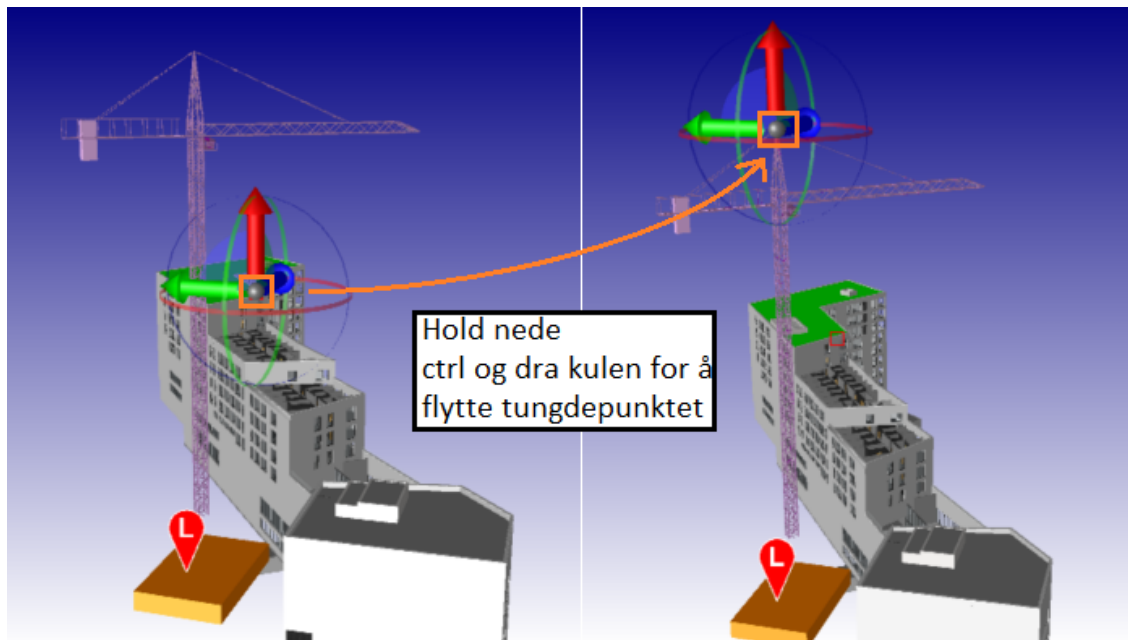
Figur 36

12.3 Eksempel 3: Tårnkranbevegelse, rotasjon

Ved mer kompliserte bevegelser kan det være mer hensiktsmessig å opprette en ny 3D path uten å definere punktene direkte i 3D-vinduet. I slike tilfeller er rekkefølgen på hvordan 3D pathen lages viktig, og et eksempel på hvordan man kan simulere tårnkranbevegelse er:

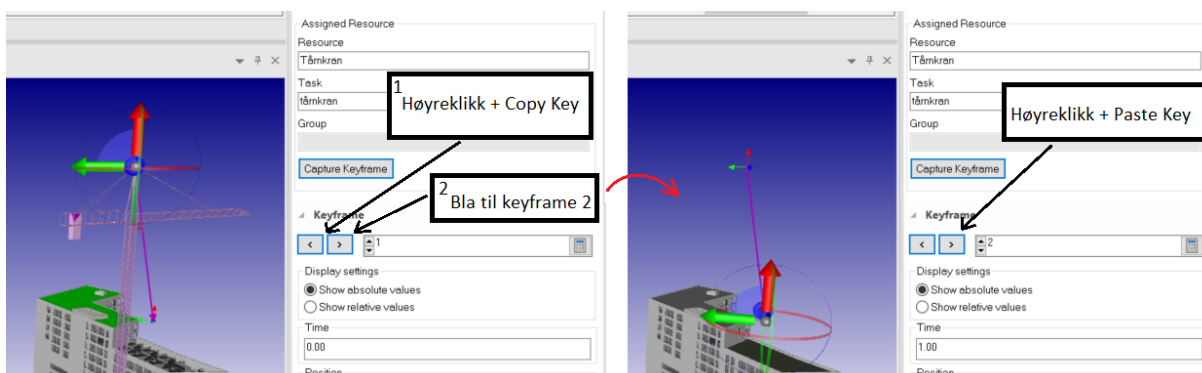
1. Gå til 3D Path vinduet, høyreklikk for å lage en ny 3D Path. Denne heter nå «New Path».
2. Koble tårnkranen til en aktivitet i planen (husk å bruke riktig appearance profile). Hvis man skal tilegne 3D paths til langvarige aktiviteter, og på ulike tidpunkter kan det være hensiktsmessig å opprette en aktivitet som f.eks heter tårnkran og har varighet gjennom hele den planlagte perioden den skal være på byggeplassen. Alternativt må kranen kobles til mange aktiviteter og 3D path må redigeres i hver enkelt aktivitet. Hvis man ikke skal tilegne 3D paths til kranen, kan man f.eks bare ha en aktivitet som heter «montasje tårnkran» og en for «demontasje tårnkran».
3. Koble 3D pathen du har lagd tidligere til tårnkranen under «Task properties» (aktiviteten for tårnkranen må være valgt) - «Resources». Velg kranen i ressursene og scroll ned til 3D path og velg den som er opprettet. Alignment kan f.eks være «On top (Z)».
4. Gå i 3D path properties (mens den nye 3D pathen og kranen er valgt)- (her kan også navnet på pathen endres) - Dra fokustiden til starten av aktiviteten (evt trykk ctrl + shift + F mens den aktuelle aktiviteten er valgt for å komme til starten), og trykk capture keyframe. Du har nå to keyframes - en i starten og en på slutten av aktiviteten.
5. Vi må nå plassere kranen der den skal være i starten, samt definere punktet kranen skal rotere om. For å gjøre dette, sørg for å ha kranen valgt i 3D-vinduet, høyreklikk der og velg edit-> modify 3D Path.

Sørg for at KEYFRAME 1 er valgt. Plasser nå krana der du vil ha den, og flytt punktet dit du vil ved å holde inne CTRL og bevege på kula i midten av manipulatore. I figur 37 vises dette. Når man skal lage 3D paths for tårnkraner er det lurt å sette dette punktet til et sted på stammen til krana, og det er ikke så viktig om det er høyt eller lavt på stammen da krana kun skal rotere om z-aksen. Toppunktet på kranen i eksempelet ligger midt i stammen, og dette punktet ble valgt som rotasjonspunkt.



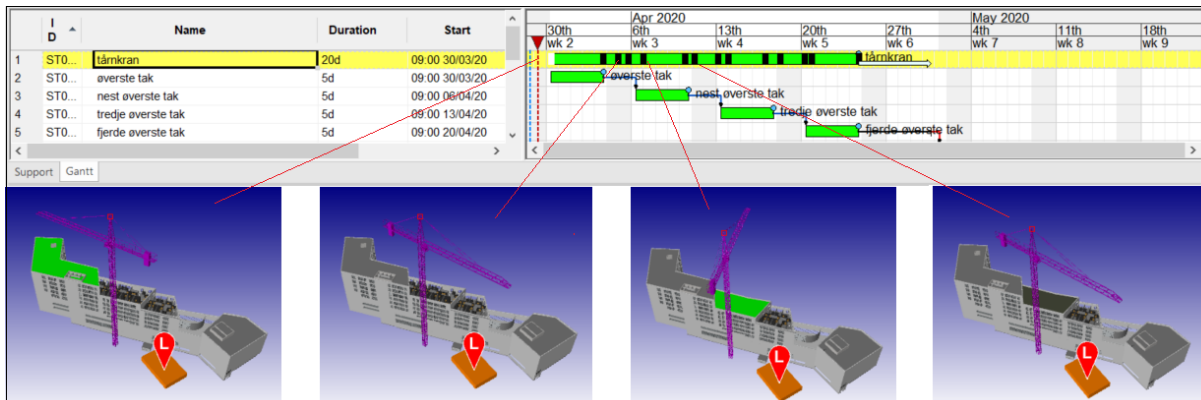
Figur 37: Endre rotasjonspunktet til tårnkran.

6. Når krana er der den skal være, trykk CAPTURE KEYFRAME (Fortsatt KEYFRAME 1 som er valgt). Dette vil gjøre at plasseringen av krana og rotasjonspunktet lagres til den gitte fokustiden. Dette blir nå det første «bildet».
7. Høyreklikk på «Keyframe 1» og kopier den (copy key), gå til «Keyframe 2» og lim inn der (paste key). Begge keyframene er nå like. Dette sørger også for at rotasjonspunktet kopieres over til keyframe 2. **VIKTIG.**



Figur 38: Kopiere og lime detaljer fra keyframe 1 til 2.

8. Dra fokustiden utover i aktiviteten, og roter kranen som ønsket og trykk capture keyframe. Hvis man står i keyframe 1, drar fokustiden utover, plasserer kranen slik man ønsker den på gitte tidspunkt, trykker capture keyframe, så legger den til et nytt keyframe med gitte plassering og tid. Det nye keyframeet får navnet Keyframe 2, mens det som tidligere var nr 2 nå blir nr 3. Gjenta dette til du er fornøyd med bevegelsene underveis. I fremdriftsplanen indikerer de svarte strekene hvilke tidspunkter som har tilegnet et keyframe til seg (når kran, aktiviteten og 3D pathen er merket). I figur 39 vises noen av utklipp av keyframes som er tilegnet en kran som er posisjonert med ulik rotasjon for å kunne arbeide på ulike tak, og som imellom hver aktivitet er innom lastesonen (L). Imellom to keyframes vil den simulere en jevn bevegelse fra første til andre bilde.



Figur 39: Utklipp av noen keyframes for tårnkranen i ulike posisjoner ved ulike tidpunkter.

13 Kopiere og lage nye 3D objekter i Synchro

13.1 Kopiere

Man kan velge 3D-objekter i 3D-vinduet, høyreklikke, velge copy, høyreklikke på nytt, velge paste, for å lage kopier av 3D-objekter. Når man gjør det kan man legge det nye objektet til som ny, eksisterende eller ingen ressurs. Funksjonen er spesielt nyttig å bruke til riggobjekter som containere, brakker, maskiner, gjerder o.l. Det nye objektet legger seg oppå det gamle. Trykk Ctrl + b for å åpne den avanserte manipulatoren og flytt objektet til ønsket plassering.

13.2 Lage nye objekter

Synchro gir mulighet for å modellere enkle objekter direkte i programvaren. Mulighetene er allikevel ganske begrensede, og egner seg kun for enkle geometriske former, og kan være nyttig for å modellere riggobjekter og midlertidige konstruksjoner (containere, laste-/ lossesoner, midlertidige konstruksjoner o.l.). Ha på det som er ønskelig av snapping, høyreklikk i 3D vinduet → Create, f.eks Box; første klikk definerer første punkt, andre punkt definerer andre punkt, tredje punkt definerer høyde. Deretter oppretter man det som ressurs i Resource Wizard, hvis man ønsker å ha det som en ressurs. Hvis man ikke skal koble det til noen aktivitet, behøver man ikke opprette det som ressurs, men kan bare ha det som et 3D objekt ved å avslutte Resource Wizard.

Synchro er ikke et modelleringsverktøy og det har mange begrensninger tilknyttet modellering. Hvis man

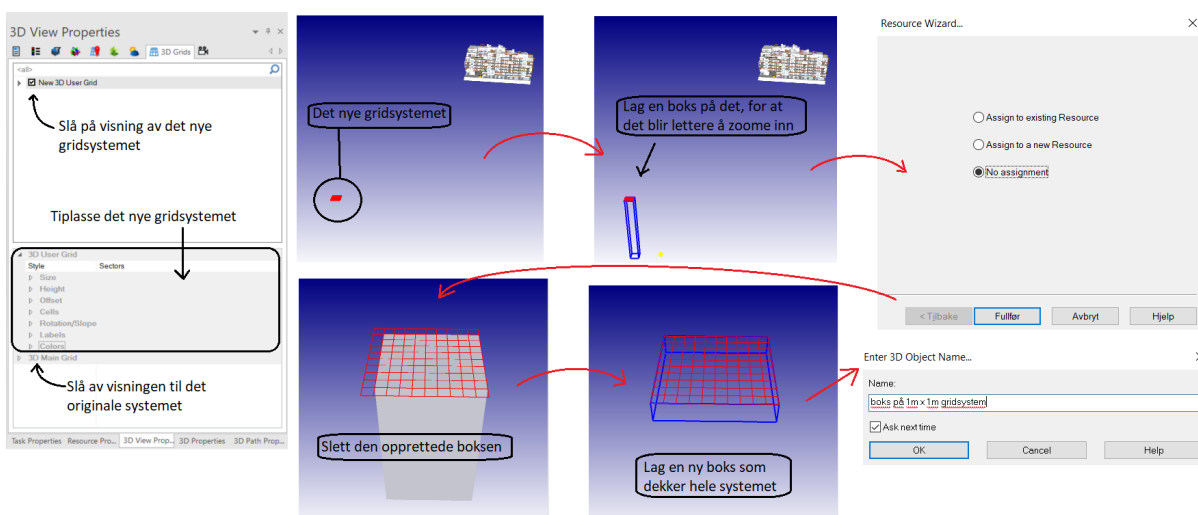
ønsker å modellere en container med gitte dimensjoner, byr dette på utfordringer: Man kan nemlig ikke velge lengden på de ulike strekene når man modellerer. Allikevel finnes det måter som kan lette dette arbeidet. En måte er ved å opprette en 3D Grid med passende distanser, slik at man kan «snappe» seg til kantene i gridsystemet. Å opprette en slik grid tar litt tid og kan virke bortkastet, men ved å følge eksempelet under går det relativt kjapt og man har et system som man kan beholde og bruke gjennom hele prosjektet for å modellere enkle objekter til de dimensjonene man ønsker.

13.2.1 Modellere en container i Synchro ved bruk av 3D Grid

Oppgave: modellere en 20 fot lagercontainer med utvendige mål: Lengde: 6058 mm, Bredde: 2438 mm og Høyde: 2591 mm.

Plan for å løse dette er ved å opprette en 3D Grid med celler på 1 x 1 meter, opprette en boks som er 1 x 1 meter i grunnflate og med vilkårlig høyde. Deretter skalere x-verdien med faktor 6,058 og y-verdien med 2,438. Ettersom det ikke er like lett å styre hva z-verdien blir når boksen opprettes, kan man måle hva den ble i etterkant og justere skaleringen deretter.

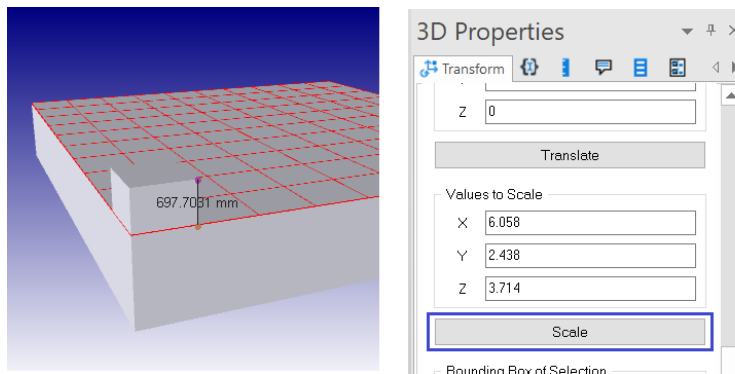
1. Slå på visning av Grid i 3D vinduet: Høyreklikk i 3D-visningen → Visual Indicators → Grid.
2. Opprett en 3D grid på 1 x 1 meter: Gå til 3D View Properties. Høyreklikk og velg «Add 3D User Grid». Velg dette, aktiver det, og bla nedover for å tilpasse gridsystemet. Se figur 40.



Figur 40: Opprettelse av en 1x1 grid.

- **Size:** Her defineres antall kolonner og rekker man ønsker. Det definerer ikke steglengden, men antall steg gridden skal være på.
- **Height:** Her kan man justere høyden på hvor gridden skal ligge. 0 indikerer at det ligger i $z=0$.
- **Offset:** Her kan man flytte gridsystemet i forhold til origo. Velger man 0, vil det starte i origo.
- **Cells:** her velger man steglengdene. I dette eksempelet ønsker vi en grid på 1 x 1 meter. Justerer derfor hhv. width og height til 1 og 1, i tillegg til å endre units fra «projected units» til meter. Her har man også muligheten til å legge inn underlinjer (som man kan tilegne annen farge), feks 10 «minor columns» vil da gi 1/10 meter i steglengde til den finere grid'en.

- Rotation/Slope: Her kan man rotere Grid'en og tilpasse den lokale forhold.
 - Labels: For å navngi aksene, feks A,B,C,1,2,3 osv.
 - Colors: Definerer fargene på hovedsystemet, og ev. den finere inndelingen.
3. Slå av visningen av 3D Main Grid da denne kan være forstyrrende.
 4. Nå er grid'en opprettet, men det er vanskelig å zoome helt inn på den. Så lenge man ser den, er det et tips å lage en box på det man ser (ha «snap to grid» aktivert), denne trenger man ikke legge til som ressurs. Deretter er det enkelt å zoome inn til grid'en. Da kan man slette den som ikke passer til grid'en, og lage en ny som passer. Når man oppretter den nye, er det greit å ha den over hele grid'en, og gi den negativ z-verdi. Denne boksen gjør det enklere å zoome inn til grid-en senere når man skal modellere. Se figur 40 for denne prosessen.
 5. Nå kan man lage en boks på 1 x 1 meter på gridsystemet, med vilkårlig høyde. Mål høyden i synchro: Høyreklikk i 3D visningen, velg measure distance. Benytt «snap to vertex (hjørne)» og mål høyden på boksen. Deretter marker boksen, gå til 3D properties og skaler den til ønskede verdier. Her skal x-verdien skaleres med verdi 6,058, y-verdien skaleres med 2,438 og z-verdien skaleres med $(2591 / 697,7031) = 3.714$.



Figur 41: Oppskalering av boks opprettet på 1 x 1 meter grid som skal tilegnes verdiene til 20 fot container (6058mm x 2438mm x 2591mm).

Alternativt kan det være et tips å opprette en boks på 1x1x1 meter. Denne er ypperlig å benytte som utgangspunkt senere i prosjektet. Da kan man kopiere boksen herfra, lime den inn. Opp-/nedskalere kopien og flytte den dit man ønsker.

Hvis man modellerer feks en utstyrs-/avfallscontainer, så kan det hende man vil tilpasse ulike farger til ulike firma eller legge tekst til containeren eller lignende. For å endre farge: marker objektet i 3D-visningen, høyreklikk, edit, color og velg farge. For å legge til tekst (se eksempel på resultat i figur 33); høyreklikk i 3D-visningen → Create → text, klikk på to punkter for å definere planet, klikk for å velge posisjonen, velg størrelsen på teksten (beveg musepekeren for å endre størrelsen), foreta ny justering av plassering, skriv inn tekst, velg om den skal opprettes som ressurs (kan være greit å legge til en eksisterende ressurs). Teksten, utseendet og layout kan endres i 3D properties → Text Properties, evt kan posisjon, størrelse, rotasjon endres ved simple/advanced manipulator (ctrl+B).

14 3D Filter

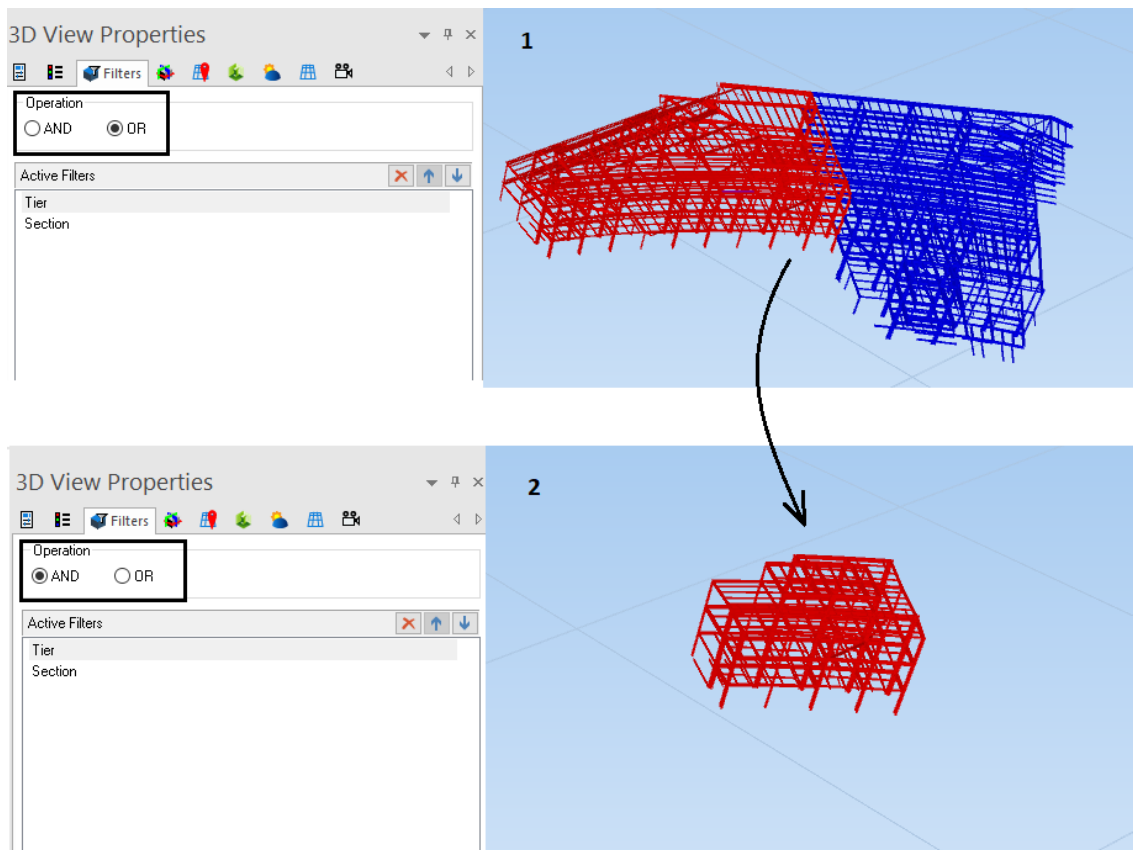
3D Filter er en svært nyttig funksjon i Synchro. Med et 3D-filter kan man vise/skjule ønskede 3D-objekter i 3D-vinduet. For å aktivere et filter, må en først gå til 3D Filter-vinduet ved å gå inn på Navigator → 3D Filters. Deretter kan man velge et filter, for eksempel «3D Object Filter», og trykke «Activate in selected View» (eventuelt «Activate in all 3D Views» hvis flere 3D vinduer er åpne). Dette filteret er nå aktivert, og en kan bruke dette til å filtrere ønskede objekter.

Filtre kan brukes til svært mye forskjellig, og en kan lage et flertall filtre. For å gjøre dette, høyreklikk under filterlisten, trykk «Add» og gi det navnet du ønsker. Videre kan du nå velge hva som skal være grunnlaget for filtreringen, der alternativene er:

- Navn
- Aktivitet (for eksempel skjule objekter som er koblet til aktiviteter)
- Ressurser
- Ressursstatus (for eksempel ikke påbegynt, i arbeid, ferdig)
- Selskap
- 3D-objekter
- User Fields
- Ressurskoder

Man kan definere hvilken farge og transparens de filtrerte og ufiltrerte objektene skal ha, for eksempel kan en bestemme at alle objektene som vises med det aktive filteret skal være blå og ha sin originale transparens.

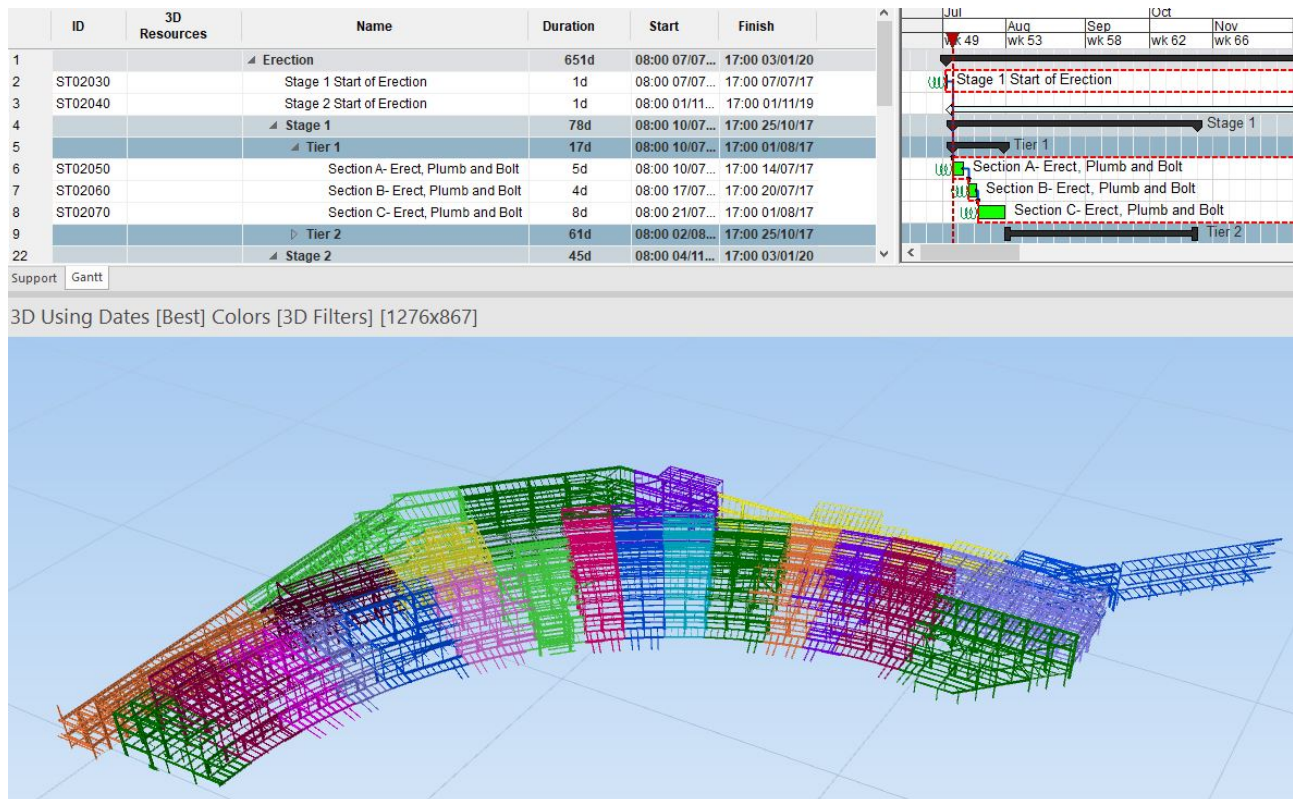
Det er også mulig å aktivere flere 3D-filtre samtidig. Når dette er tilfelle, kan de virke på forskjellige måter. I 3D View Properties kan man definere logikk og bestemme prioritet på filterne, se figur 42. Når OR er aktiv, så vises alle objekter som oppfyller kriteriene i *minst ett* av filterne. Merk at de objektene som oppfyller kriterier for flere enn ett filter, vil få farge ut i fra det filteret som er øverst på prioritetslisten (i figuren er dette filteret «Tier»). Når AND er aktiv, så vises kun objekter som møter kriteriene til *alle* aktive filtre. I tillegg vil den bestemte fargen for det øverste filteret på lista være det som vises.



Figur 42: Virkningen av å endre logikkoperatoren

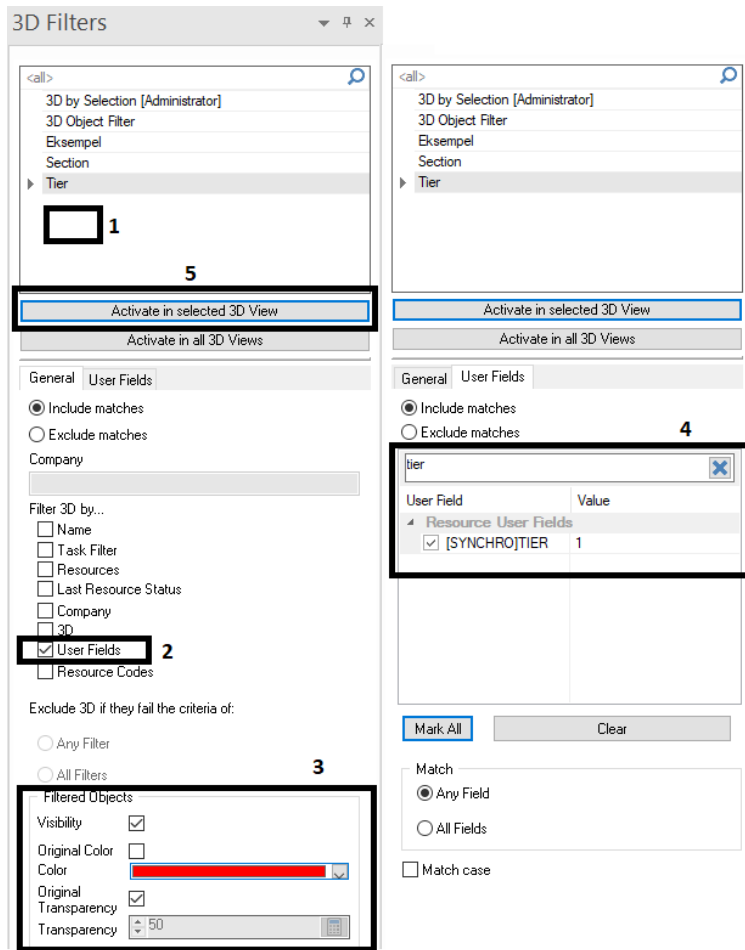
14.1 Eksempel: Flere filtre samtidig

I dette eksempelet vil vi vise hvordan flere filtre kan benyttes samtidig. figur 43 viser stålarbeidene og fremdriftsplanen for et flyplassprosjekt. Som vises på bildet, er alle aktivitetene navngitt med seksjon (Section), og underlagt forskjellige nivåer (Tiers). Alle ressursene har også User Fields som definerer hvilken tier og section elementet tilhører (henholdsvis [Synchro]TIER og [SYNCHRO]SECTION). Når modellen er satt opp slik, kan vi enkelt bruke filtre til å sortere elementene. NB: Dette er ment som et illustrativt eksempel, for å vise hvordan en kan benytte flere filtre samtidig.



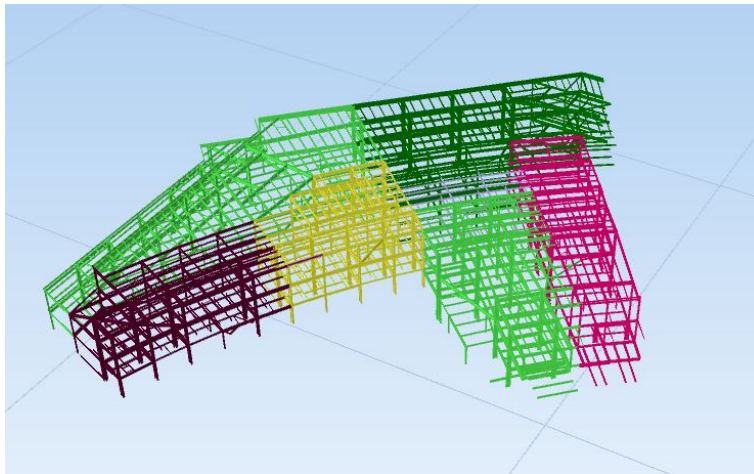
Figur 43: Stålarbeider på en flyplass

1. Her ønsker vi å lage et filter for nivåer, og et filter for seksjoner. For å lage et filter; gå til 3D Filtervinduet → høyreklikk under filterlisten og trykk «Add».
2. Det nyopprettede filteret får navnet «Tier», og vi huker av «User Field» under der det står «Filter 3D by»
3. For dette eksempelet vil vi vise prioriteten når flere filtre aktiveres sammen, så vi gir alle objekter som filtreres av dette filteret fargen rød.
4. Deretter navigerer vi til User Field-fanen (ved siden av general, se figur 45), søker på «tier», huker av denne, og setter inn verdien 1.
5. Når dette er gjort, kan vi aktivere det ved å trykke «Activate in Selected 3D View». Se figur 45 for fremgangsmåte.



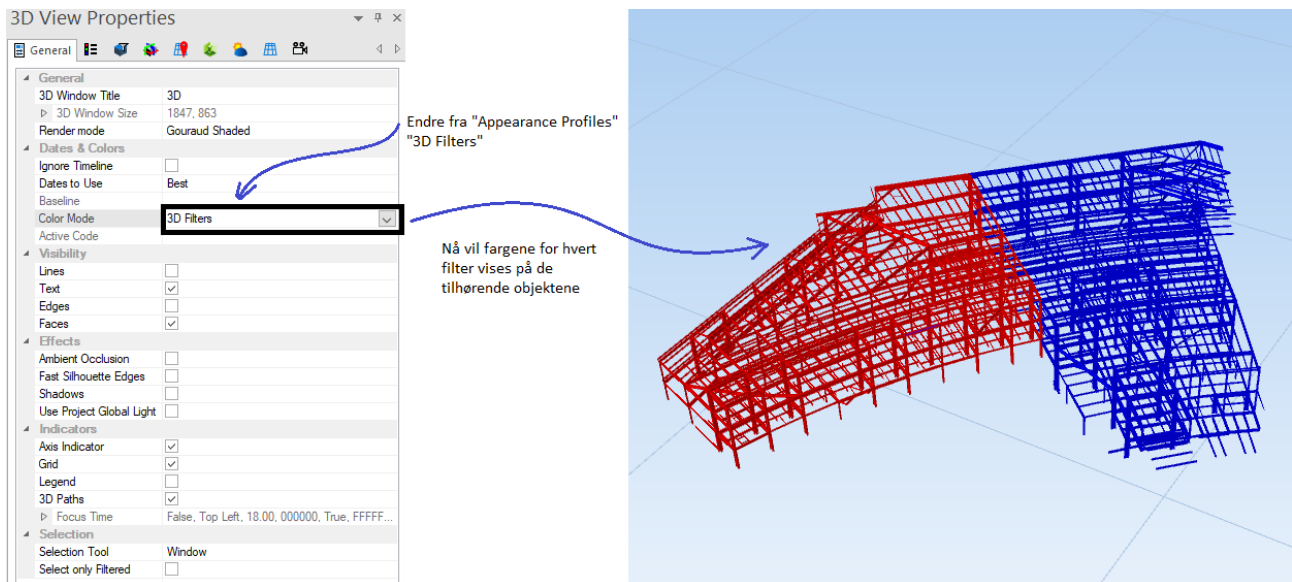
Figur 44: Lage filter

6. Filteret er nå aktivert, og alle objekter som er merket med et «Tier»-User Field vil bli vist.
7. Vi lager nå et nytt filter som vi kaller «Section», huker av for «User Field» og gir objektene til dette filteret fargen blå.
8. I User Field-fanen søker vi på «Section», huker av denne, og setter inn verdien A. Deretter kan filteret aktiveres på samme måte som tidligere.
9. I 3D-vinduet ser det nå slik ut:



Figur 45: Objekter med aktiverte filter, med sin originale farge

10. Objektene er nå filtrert med operatoren OR, slik at objekter som oppfyller kriteriene i minst ett av filtrene vises. Endres logikkoperatoren til AND, vil kun objekter som oppfyller kriteriet til *begge* filtrene vises. Men hvorfor er ikke objektene farget røde og blå, spør du? Det er fordi fargemodusen (Color Mode) i 3D View er satt til å følge Appearance Profiles. Dette kan endres i 3D View Properties, se figur 46.



Figur 46: Hvordan endre fargemodus slik at fargene fra 3D Filteret vises

11. Med disse filtrene vil det være en smal sak å raskt koble de enkelte objektene til riktige aktiviteter. Dette er kun et eksempel på hva kombinasjon av 3D filtre kan brukes til, det finnes mange andre kreative måter å benytte seg av dette på.

15 Synkronisering av 3D modeller

BIM-modeller oppdaterer seg gjerne flere ganger i løpet av et prosjekt, og dette kapittelet tar for seg hvordan Synchro behandler oppdaterte modeller.

15.1 Optimering av 3D modell for synkronisering

For at man skal kunne beholde de allerede opprettede linkene mellom modell og fremdriftsplanen når man synkroniserer en endret modell-fil, er det visse retningslinjer man bør følge tilknyttet hvordan den oppdaterte modellen må være utformet for å oppnå optimalt resultat.

- Eksport fra CAD: Alle objektene som originalt var importert til Synchro, bør eksporteres fra CAD-systemet på nytt. Objekter som er slettet i oppdateringen av CAD-filen vil bli slettet i Synchro under synkroniseringen.
- Import til Synchro: Alle nye 3D-objekter vil importeres til Synchro når man synkroniserer, men de må sammenkobles med aktivitetene i fremdriftsplanen.
- GUID'er: Alt av 3D data som endres, må fortsatt ha det samme navnet og det samme Globale Unike ID (GUID) nummeret, slik at Synchro kan gjenkjenne det som det samme objektet og dermed beholde koblingen. GUID'er lages automatisk i CAD-systemet som benyttes.

PS: Man kan endre geometrien til et objekt i 3D-modellen uten at det krever noe ekstra, men ikke dersom man sletter det og lager det på nytt etterpå. Når man sletter det og lager det på nytt vil objektet nemlig få en ny ID som gjør at Synchro ikke vil gjenkjenne det. Det samme gjelder hvis man splitter et objekt i 3D-modellen, det blir da to separate, nye, objekter med hver sin nye ID. Når dette er tilfelle, kreves det at de nye objektene må kobles til aktivitetene på nytt, etter synkroniseringen.

- Filnavn: Man kan eksportere oppdaterte filer fra CAD-programmet med hvilket som helst filnavn, dette virker ikke inn på synkroniseringen.

15.2 Synkronisering av 3D modeller

For å synkronisere mot en oppdatert modell: Navigator → Project Data → External Data. Når man synkroniserer en 3D-modell, bør import-innstillingene være de samme som de var i den initielle importeringen (av den nå utdaterte 3D-modellen).

15.3 Identifisere endringer i 3D-objektene

Etter synkronisering får man en rapport om hvilke oppdateringer som har blitt gjort. Dette er typisk hvor mange 3D-objekter det var før synkronisering, hvor mange nye 3D-objekter det er, hvor mange som er linket til aktiviteter o.l. Man får også en liste med navnene på alle 3D-objektene som ikke er koblet til aktiviteter, og får nå muligheten til å «Create resources for new 3D objects (as subtree)». Da vil det automatisk opprettes ressurser for objektene, og disse legges i bunnen av eksisterende «ressurs-tre». Ved å sette på et 3D-filter med kun den oppdaterte 3D-modellen, og å dra fokustiden tilbake til starten av prosjektet, vil de objektene som *ikke er lenket til aktiviteter* vises i 3D-vinduet. Disse kan herfra kobles til aktiviteter i fremdriftsplanen.

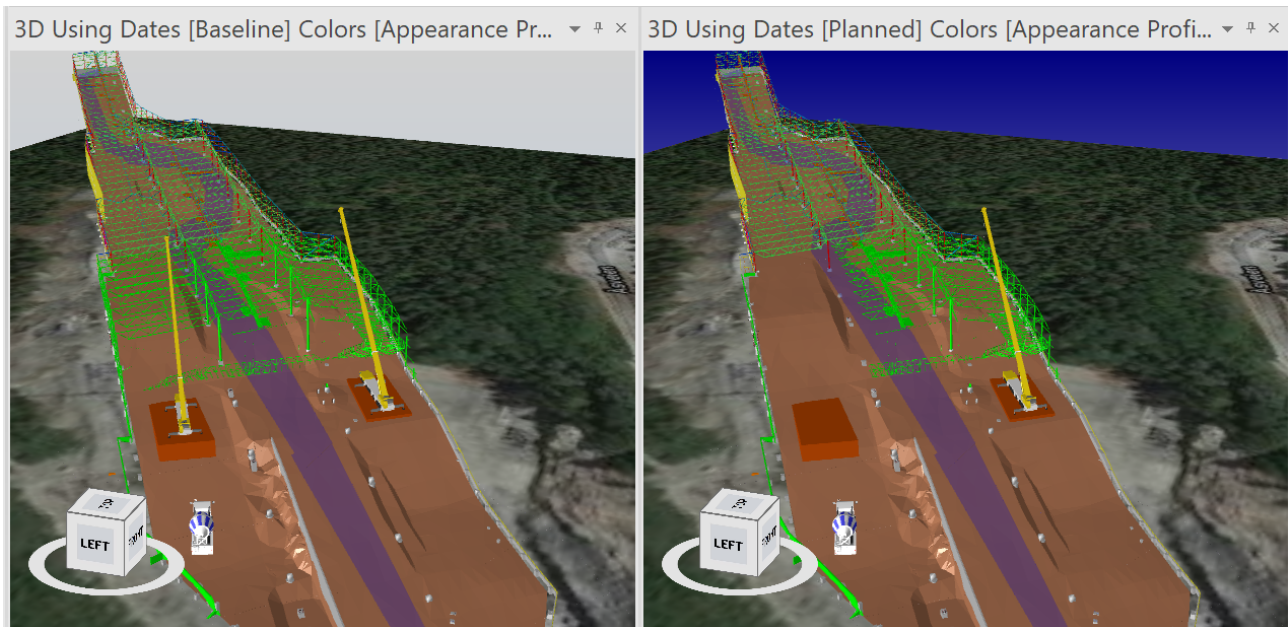
Dette gjelder både objekter som har mistet koblingen, samt nye objekter i modellen som enda ikke har blitt koblet til planen.

16 Baselines og synkronisering av planer

I Synchro kan man også synkronisere endringer i fremdriftsplanen som er gjort i et eksternt program, f.eks Synchro Schedulerer eller MS-Project. Dette gjør at man fortsatt kan planlegge i det vante planleggingsverktøyet og synkronisere dette inn til Synchro Pro. Hvis det er nye planer, så importeres de. Hvis det er gjort endringer i en plan som allerede er importert til Synchro, så synkroniserer man den oppdaterte planen.

Det er også mulig å teste ulike fremdriftsplaner samtidig for å sammenligne og kunne gjøre et valg av fremdriftsplan som baserer seg på visualiseringen av de ulike. Se figur 47 for et enkelt eksempel på dette. Hvis man ønsker å gjøre dette, lagrer man først den opprinnelige planen som allerede er importert i Synchro som en «Baseline». Det vil si at man lagrer «utgangspunktet» som en Baseline og synkroniserer endringene. Deretter kan man sammenligne utgangspunktet med den oppdaterte/alternative planen. Baseline kan også bruke til andre formål, som å sammenligne planlagt mot faktisk fremdrift.

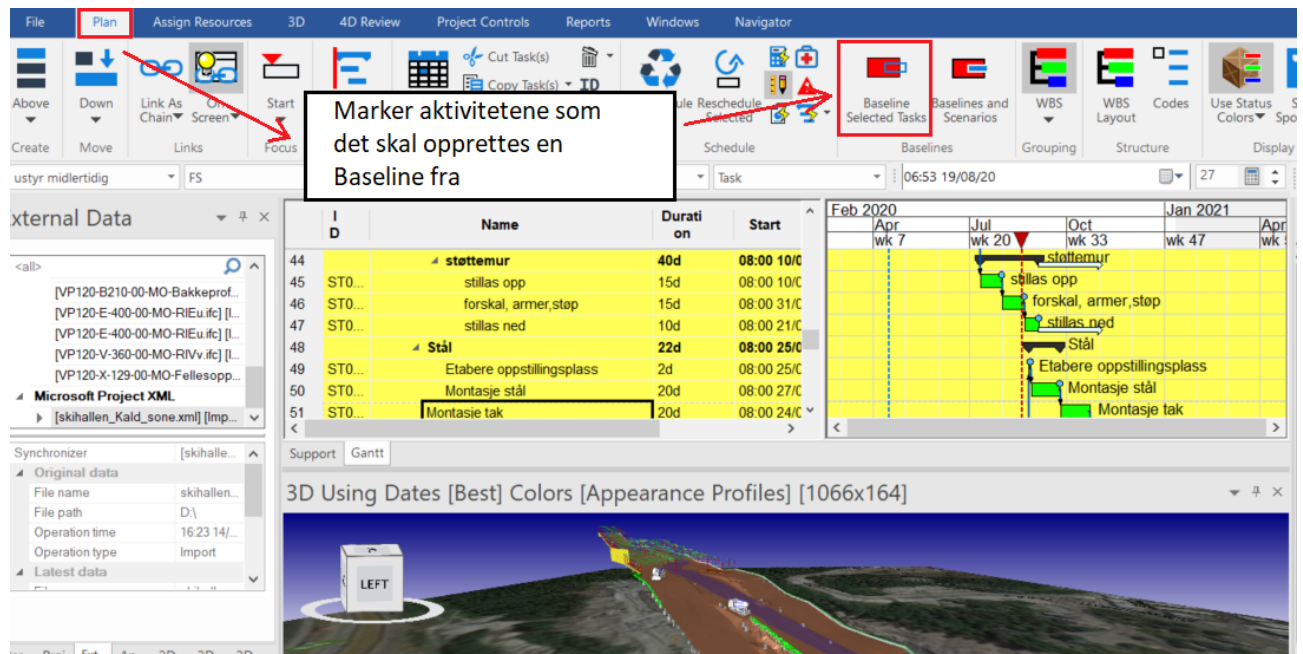
Her vil aspektene synkronisering og baselines beskrives sammen. Dette vil gjøres ved å beskrive hvordan man sammenligner to alternative planer, da dette innebærer å lage en baseline av opprinnelig plan, synkronisering av en oppdatert plan samt en sammenligningsvisning av de ulike. Hvis man ønsker å beholde den nåværende planen før man synkroniserer den nye, for å bruke til å sammenligne, så kan man altså lage denne som en baseline (kopi) før man synkroniserer.



Figur 47: Eksempel på bruk av Baseline og sidestilte 3D-visninger som baserer seg på to ulike fremdriftsplaner hva gjelder stålmontasje (sekvensielt eller parallelt).

16.1 Å lage en Baseline

1. Velg aktivitetene som baselinen skal lages fra. Dette gjør at man kan sammenligne kun deler av planen hvis det er ønskelig. Hvis man vil sammenligne hele planen, må alle aktivitetene merkes.
2. Høyreklikk i planleggingsvinduet, og velg «Baseline Selected Tasks», se figur 48. Deretter velger man et passende navn. Hvis man ønsker å sammenligne to alternative planer, kan man for eksempel kalle den for «Alternativ 1», «original plan» eller lignende.

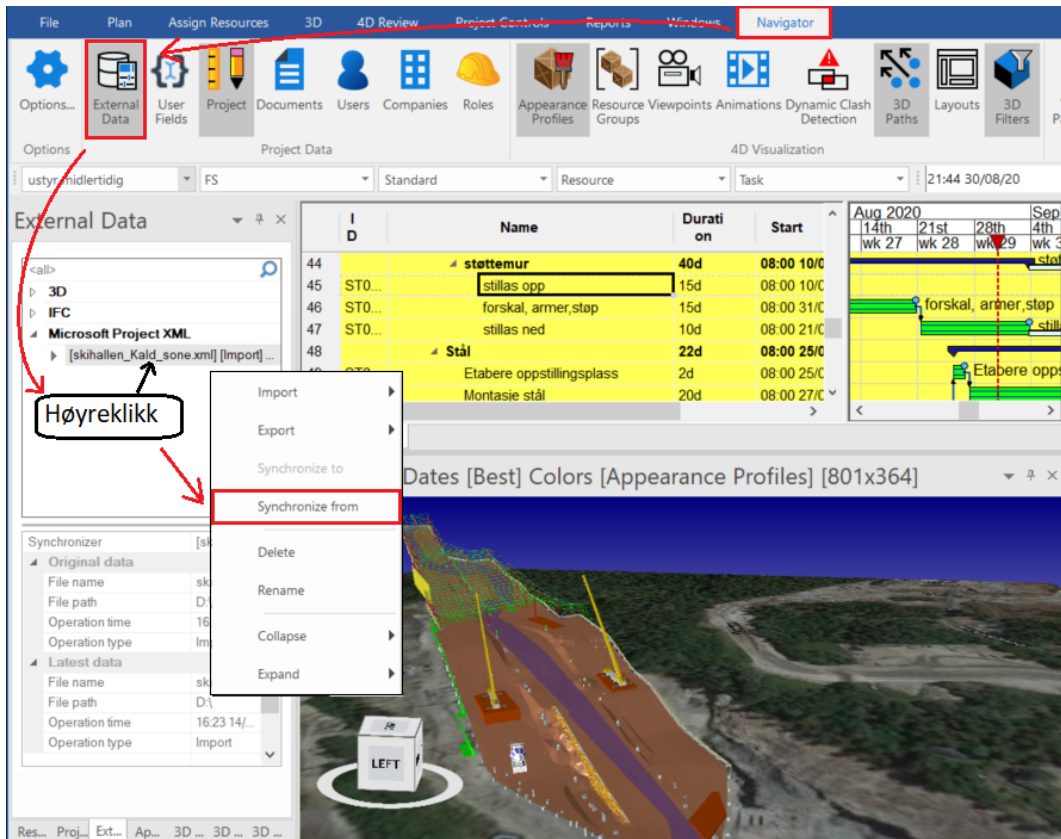


Figur 48: Hvordan opprette en Baseline.

3. Hvis ikke critical path for denne planen er beregnet, får man spørsmål om man vil gjøre det før kopien opprettes. Det gjør at man, når man sammenligner de ulike planene, også kan sammenligne de ulike kritiske stiene. Dette kan brukes til risikostyring; hvilke aktiviteter ønsker man å ha som del av den kritiske stien og hvilke aktiviteter ønsker man ikke å ha på denne stien? Ved å huke av for beregning av den kritiske stien, vil den vises i rødt i planleggingsvinduet. Visningen av ulike baseline scenarios, og hva som vil være på den kritiske stien ved de forskjellige planene reguleres i Plan-fanen → Baselines and Scenarios → skru av og på ved å markere de ulike baselines'ene. For å skru av visningen av den kritiske stien: skru av «Compute Critical Path» i Plan-fanen.

16.2 Synkronisere planer

Hvis man vil oppdatere endringer i planen som er gjort i et eksternt planleggingsverktøy, eller sammenligne den opprinnelige fremdriftsplanen med en endret/oppdatert versjon, så må man synkronisere den oppdaterte planen. Navigator-fanen → External Data → høyreklikk i XML-filen som skal synkroniseres → Synchronize From, se figur 49.



Figur 49: Hvordan synkronisere en oppdatert plan

Deretter velger man den oppdaterte fremdriftsplanen. Når man synkroniserer en plan, får man spørsmål om man vil synkronisere, konsolidere, integrere eller hoppe over de ulike egenskapene i planen. Se forklaring av de forskjellige under i figur 50. Synchro opererer også med et flytskjema som kan benyttes for å avgjøre hvilket alternativ man skal velge for ulik bruk, se figur 51. Etter man har synkronisert, får man også opp et vindu som forteller hva som har skjedd under synkroniseringen, typisk hvor mange aktiviteter som er opprettet, endret, fjernet etc.

SYNCHRONISE

If you choose to **Synchronise**, the existing schedule in Synchro will be completely replaced with the updated external schedule.

Outcome: External schedule takes precedence over Synchro schedule when Synchronising according to the following rules:

- Attributes **ADDED** externally → **ADDED** in Synchro
- Attributes **DELETED** externally → **DELETED** in Synchro
- Attributes **MODIFIED** externally → **MODIFIED** in Synchro
- Attributes **ADDED** or **MODIFIED** in Synchro → **OVERRIDDEN**

NOTE: The option to **Synchronise** is not available for P6 global objects (such as Calendars, Resources, Risks and Activity Codes) since these cannot be deleted.

CONSOLIDATE

If you choose to **Consolidate**, any schedule changes made externally or in Synchro will still exist, **NOTHING IS DELETED**.

Outcome: Merges the External and Synchro Schedules when Synchronising

- Attributes **ADDED** externally → **ADDED** in Synchro
- Attributes **MODIFIED** externally → **MODIFIED** in Synchro
- Attributes **ADDED** or **MODIFIED** in Synchro → **MAINTAINED**

INTEGRATE

If you choose to **Integrate**, any modifications made to the selected external schedule in Synchro will be overridden. However, any additions to the schedule in Synchro will be maintained.

Outcome: External schedule takes precedence over Synchro schedule for all Attributes not originally created in the external schedule.

- Attributes **ADDED** externally → **ADDED** in Synchro
- Attributes **DELETED** externally → **DELETED** in Synchro
- Attributes **MODIFIED** externally → **MODIFIED** in Synchro
- Attributes **ADDED** in Synchro → **MAINTAINED**
- Attributes **MODIFIED** in Synchro → **OVERRIDDEN**

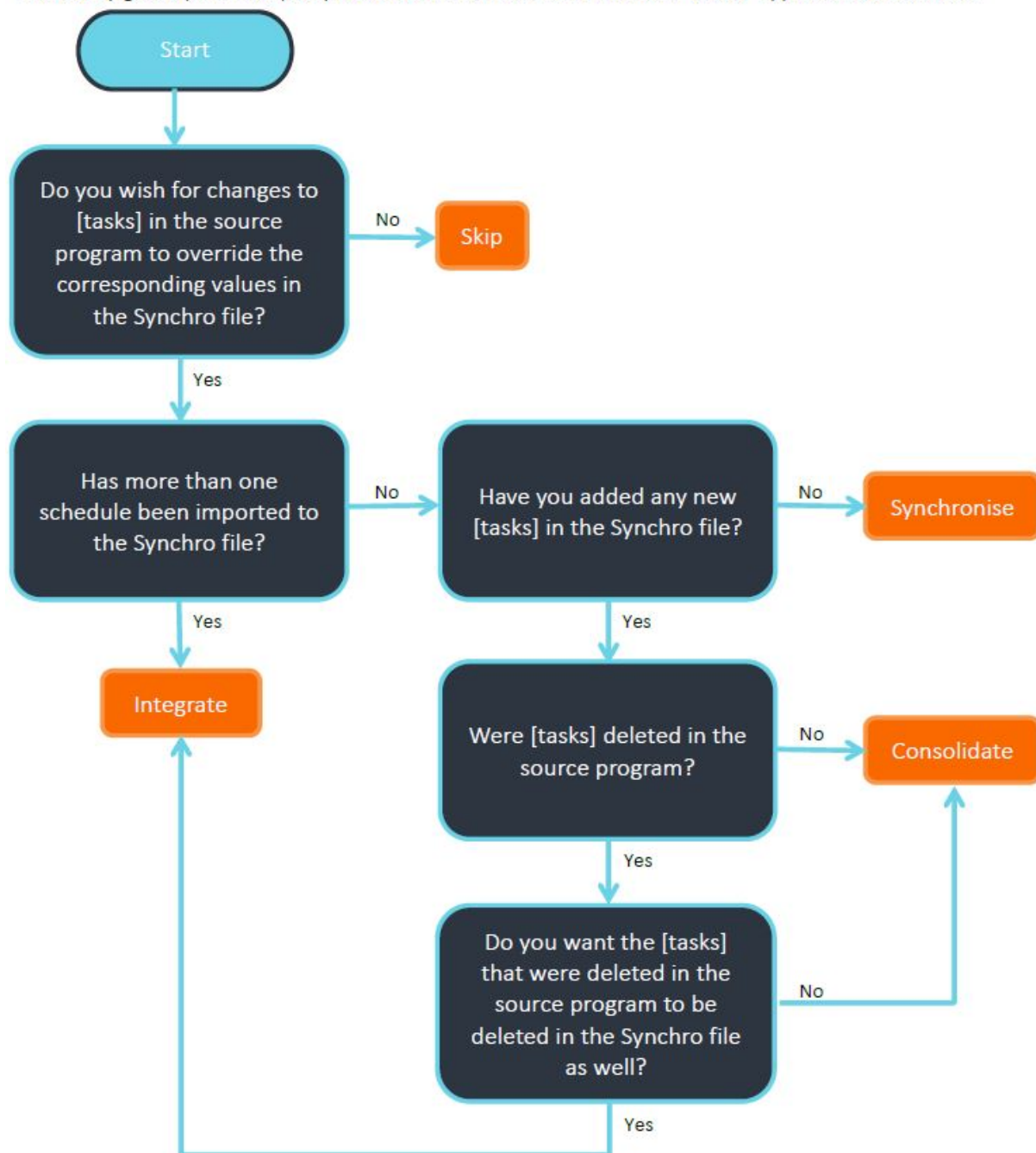
NOTE: **Integrate** only affects schedule attributes associated with the selected schedule being Synchronised. Thus the option to **Integrate** is most commonly used when multiple schedules have been imported into Synchro so no project data is lost upon Synchronisation. **Integrate** is the default choice for Resources and Resource Assignments. The option to **Integrate** is unavailable for Microsoft Project XML.

SKIP

If you choose to **Skip**, the associated attribute will not be modified or updated.

Figur 50: Valgmuligheter når man synkroniserer fremdriftsplan

Use the following flowchart to determine whether to Skip, Synchronise, Consolidate, or Integrate each attribute. For each attribute (eg. Links, Calendars, etc.) substitute the attribute name wherever "[tasks]" appears in the flow chart.



SUMMARY: Any attribute that you have added or modified in Synchro since importing will need to be considered. For example, if you have not created any tasks, calendars etc. in Synchro but have just created Resources and Resource Assignments, those are the only two options that you will be required to Consolidate or Integrate instead of Synchronise to ensure that Synchronisation works correctly and that all assignments are retained.

See "[Appendix F: Synchronisation Scenarios](#)" for further information and to test your knowledge of these options.

Figur 51: Flytskjema valgmuligheter ved oppdatering av plan

16.3 Sammenligne ulike planer i ulike 3D-vinduer

Hvis man (i tillegg til å se endringene i Gantt) ønsker å se endringene i 3D-vinduet, kan man gjøre dette i sidestilte 3D-visninger. Se figur 47 for et eksempel på dette. Hvert 3D-vindu kan settes til å bruke Best, Actual, Planned, Proposed, Baseline eller Original dates uavhengig av hverandre. Dette åpner for sammenligning av forskjellige baselines, faktisk utført arbeid mot planlagt fremdrift osv.

Åpne et nytt 3D-vindu (Windows → 3D). Plasser dette ved siden av det eksisterende vinduet, se figur 52. For å få samme visning i begge vinduene, kan man høyreklikke i et av dem → velge Viewpoints → aktivere «Apply Viewpoint to all 3D Views». Man kan også linke kameraene i visningene sammen (når man roterer, zoomer o.l. i et av vinduene, så gjøres det samme i det andre) ved å høyreklikke i 3D-visningen → Camera → Link With → velge den Baseline man vil koble sammen med.

Velg det ene vinduet ved å klikke på det, gå til 3D View Properties → General → Dates Colors for å velge hvilken plan dette vinduet skal vise (se figur 52). Gjør det samme for det andre vinduet (men velg andre datoer for å muliggjøre sammenligning av ulike alternativer). Ved å flytte fokustidlinjen gjennom prosjektet, kan man visualisere de ulike planene samtidig.



Figur 52: Hvordan plassere to 3D-vinduer side om side i et felles 3D-vindu, samt velge hvilken plan som skal vises i vinduet.

17 Cutting planes

Cutting planes kan for eksempel brukes for å vise deler av bygningen når man spiller av en simulering, eller brukes for å lage egendefinerte vekstretninger som beskrevet tidligere. Hvis man for eksempel ønsker å lage et Cutting Plane som gjør at et flatt tak ikke vises i simuleringen, kan man lage et plan i Z-retning ved å høyreklikke i 3D-vinduet → Cutting Plane Z, for så å trykke i 3D-vinduet. Man kan også benytte flere cutting planes samtidig. Oversikten over ulike cutting planes vises i fanen 3D View Properties → Cutting Planes. Her kan man aktivere/deaktivere ulike cutting planes, lage nye / slette, og også legge de til som vekstretninger som kan brukes til skreddersydde appearance profiles. Hvis man ønsker retningen på planet invertert, kan man høyreklikke på det og velge «Invert Plane».

Fra og med Synchro PRO 2019 er det mulig å lage en «cutting box» i stedet for et plan. Med denne funksjonen er det mulig isolere et lite område, for så å skjule ønskede elementer inni denne. Dette kan være svært

nyttig i animasjoner og fremvisninger, da en for eksempel kan fjerne deler av et tak for å vise pågående arbeid i enkelte områder.

18 Viewpoints

Et Viewpoint er en visning av situasjonen ved en gitt tid, med angitt filter, cutting plane og kameravinkel. Det kan være nyttig å ha ulike Viewpoints lagret, slik at man ved oppdateringer eller sammenligninger av planer kan se hvordan endringene i planen påvirker gjennomførbarheten. For eksempel hvis man endrer noe i innvendige arbeider, kan det være lurt å ha et lagret et Viewpoint som har fokus på disse arbeidene for å sammenligne. Denne funksjonen kan også gjøre stor nytte i diverse møter, hvor møteholder kan lagre aktuelle situasjoner i 4D-modellen og ha dem klare for fremvisning til møtene.

For å opprette et Viewpoint:

1. Juster kameravinkel og fokustiden (eventuelt 3D-filter og Cutting Planes også, men dette kan også gjøres senere med «Add»-funksjonen) slik man ønsker i gitte visning.
2. Navigator → Viewpoints
3. Høyreklikk i vinduet → Add
4. Nå er Viewpointet lagret. Nå kan man gå ut av det, endre vinkel, tid, Cutting Planes og så videre. For å komme tilbake til Viewpointet, så må man gå til Viewpoints-menyen → høyreklikk på det aktuelle viewpointet og velgg «Activate in Selected 3D View».

19 Animasjoner

Synchro gir også muligheten for å lage animasjoner som kan eksporteres som videofiler. Dette er nyttig hvis man skal presentere planen, spesielt til noen som ikke har Synchro. Man kan lage animasjoner for hele prosjektet, eller dele inn i faser og sekvenser som man vil. Det har foreløpig ikke blitt laget veiledninger for animasjoner, men dette skal tilføres dette veiledningsdokumentet for neste utgave.

