

Marita Grundberg Pedersen
Louise Benedikte Gjelseth Buene

Kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Ola Lædre
Juni 2020

Marita Grundberg Pedersen
Louise Benedikte Gjelseth Buene

Kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Ola Lædre
Juni 2020

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



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Byggeprosjekter er i dag ofte preget av forsinkelser, med kostnadsoverskridelser som resultat. I mange tilfeller kan dette skyldes sviktende fremdriftsplanlegging. Utallige aktiviteter må planlegges med blant annet korrekt varighet og optimal rekkefølge. Det er krevende å både skape oversikt og ta høyde for all nødvendig informasjon som må inn i fremdriftsplanen. Dette samtidig som det er ønskelig å holde total varighet og kostnader til et minimum. Fremdriftsplanlegging er derav en svært kompleks og krevende oppgave. Med et stadig økende inntog av kunstig intelligens i byggebransjen, var det interessant å se nærmere på bruk av dette i fremdriftsplanlegging. Med bakgrunn i dette er følgende tre forskningsspørsmål utarbeidet:

1. Hvordan kan kunstig intelligens brukes i fremdriftsplanlegging?
2. Hva er fordeler og ulemper med å utarbeide fremdriftsplaner ved hjelp av kunstig intelligens, sammenlignet med tradisjonell fremdriftsplanlegging?
3. Hvilke forutsetninger bør være til stede for at totalentreprenører skal ta i bruk kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i fremtidige prosjekter?

For å besvare forskningsspørsmålene er det gjennomført en litteraturstudie, ni semistrukturerte intervjuer, flere uformelle intervjuer og en casestudie. De semistrukturerte intervjuene hadde til hensikt å innhente kunnskap og erfaringer fra flere norske entreprenører og en norsk programvareleverandør. De uformelle intervjuene ble gjennomført med internasjonale programvareleverandører for å undersøke dagens muligheter og marked. Casestudien undersøkte om det fås realistiske fremdriftsplaner ved bruk av programvaren ALICE, sammenlignet med tradisjonelt planlagt plan og faktisk fremdrift for et reelt prosjekt. Både objektiv og subjektiv data er altså innhentet for å analysere funnene i oppgaven.

Oppgaven kartla seks ulike programmer; ALICE, nPlan, Kreo Plan, InEight Schedule, Kwant.ai og Holte Fremdrift. Kun ett av disse er testet av norske entreprenører i byggebransjen i dag. Videre resulterte intervjuene og casestudien i en rekke ulike fordeler og ulemper ved bruk av denne type programvare. Fordelene handlet i stor grad om optimaliserte fremdriftsplaner, effektiv planlegging og dataknusing. Ulempene omfattet en konservativ byggebransje, mangel på tillit, begrenset fornuftig forståelse og krevende bruk. I tillegg ble det identifisert forutsetninger, som omhandlet kategoriene aktører, nytteverdi, teknologi, prosjekttype og prosjektteam.

Generelt er det tydelig at det finnes svært få erfaringer med kunstig intelligens i den norske byggebransje. Det har likevel kommet flere aktører på markedet med et stort bruksområde, som viser økt interesse og etterspørsel. Fordelene handler i stor grad om at entreprenører kan spare tid og penger. Ulempene er derimot at det kan være vanskelig å implementere denne typen programvare, ettersom utfordringer ved bruk skaper en kjedereaksjon som gjør at byggebransjen i dag foretrekker de tradisjonelle metodene. Forutsetningene som er kartlagt beveger seg fra organisatorisk nivå og ned til prosjektnivå, og handler derav om hva som bør gjøres for at entreprenører skal ta i bruk kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i fremtidige prosjekter.

Abstract

Construction projects are often critically delayed, with cost overruns as a result. In many cases, this is due to poor scheduling. Countless activities must be planned with correct duration and optimal sequencing, among other things. It is demanding to both create an overview and consider all the necessary information that must be included in the schedule. At the same time, it is desirable to keep total duration and costs to a minimum. Construction scheduling is therefore a very complex and demanding task. With an increasing intake of artificial intelligence in the construction industry, it was enticing to look more closely at its use in construction scheduling. Therefore the following three research questions was developed:

1. How can artificial intelligence be used in construction scheduling?
2. What are advantages and disadvantages of generating construction schedules using artificial intelligence, compared with traditional construction scheduling?
3. What are prerequisites that should be present in order for contractors to use artificial intelligence for construction scheduling in future projects?

To answer the research questions, a literature study, nine semi-structured interviews, several informal interviews and a case study were conducted. The semi-structured interviews were intended to gather knowledge and experience from several Norwegian contractors and a Norwegian software developer. The informal interviews were conducted with international software developers to investigate today's opportunities and market. The case study investigated whether realistic schedules were obtained using the software ALICE, compared to a traditionally planned schedule and actual progress for a real project. Both objective and subjective data were collected to analyze the findings in the thesis.

The thesis has identified six different software; ALICE, nPlan, Kreo Plan, InEight Schedule, Kwant.ai and Holte Fremdrift. Only one of these has so far been tested by Norwegian contractors. Furthermore, the interviews and case study resulted in several different advantages and disadvantages with using this type of software. The benefits were largely about optimized schedules, effective planning and data capacity. The disadvantages included a conservative construction industry, lack of trust, limited reasonable understanding and demanding use. In addition, prerequisites were identified, which dealt with the categories actors, utility, technology, project type and project team.

In general, there is very little experience with artificial intelligence in the Norwegian construction industry. Several software developers have entered the market with a range of applications, showing increased interest and demand. Overall the benefit is that contractors can save time and money. The disadvantage, on the other hand, is that it can be difficult to implement this type of software because of challenges which result in the construction industry still preferring the traditional methods. The assumptions that have been identified moves from the organizational level down to the project level, and therefore concerns what should be done in order for contractors to use artificial intelligence for construction scheduling in future projects.

Forord

Denne masteroppgaven er forfattet våren 2020 som et avsluttende arbeid på en 2-årig mastergrad ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven er utført som et samarbeid mellom Marita Grundberg Pedersen og Louise Benedikte Gjølseth Buene ved Institutt for bygg- og miljøteknikk. Studentene har hatt spesialisering innen henholdsvis «bygg og anlegg» og «konstruksjonsteknikk», men oppgaven skrives for begge i emnet «TBA4910 Prosjektledelse» som er på 30 studiepoeng. Oppgavens totale omfang tilsvarer 60 studiepoeng.

Gjennom studiet har begge utviklet interesse for effektivisering av byggeprosesser og innovative løsninger. Det ryktes at byggebransjen henger litt igjen på digitaliseringsfronten, og en oppgave som innebar bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging vekket derfor nysgjerrighet hos begge to. Vi har begge knyttet kontakt med bransjen i løpet av studietiden, blant annet gjennom sommerjobber, arbeid som vitenskapelig assistent og verv som bedriftskontakter. Dette har vært en stor fordel når bransjen skulle kontaktes for innhenting av kunnskap og erfaringer til oppgaven.

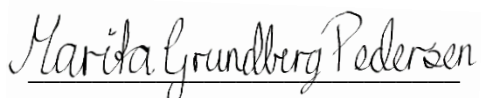
Tematikken i oppgaven er åpenbart spennende for byggenæringen, ettersom samtlige vi har vært i kontakt med har vist stor interesse. Behovet for å undersøke tematikken ble også bekreftet da vi ble oppfordret til å skrive en artikkel, som nå er publisert på nettsiden «bygg.no». Dette ble gjort for at byggebransjen skulle få et innblikk i mulighetene som finnes på markedet i dag. Interessen fra bransjen har også ført til at vi allerede har blitt kontaktet for å se på mulighetene til å holde innlegg i forbindelse med ulike kurs og arenaer for kunnskapsdeling.

Ettersom begge allerede har fullført en bachelor innen Ingeniørfag - bygg ved OsloMet, ble det ikke skrevet prosjektoppgave i løpet av høstsemesteret. Dette har imidlertid ikke sett ut til å ha vært noen ulempe, snarere tvert imot har begge brettet opp armene fra første dag og hatt høy motivasjon. Dette førte også til at vi etter oppfordring fra veileder skrev et utkast til en konferanse-artikkel mot slutten av oppgaven. Vi håper å få denne godkjent til IGLC 2021 etter hvert.

Vi ønsker å rette en stor takk til vår veileder Ola Lædre, både for god veiledning og oppfølging gjennom semesteret. Videre ønsker vi å takke vår biveileder Vegard Knotten fra Veidekke, som har bidratt med gode innspill. Vi retter også en stor takk til Henning Frøysa fra prosjektet NærByen i Trondheim, som har vært en enorm ressurs i arbeidet med casestudien. I tillegg vil vi takke Johan B. Selmer og Erlend Melbye fra Veidekke som har delt sine erfaringer med programvaren ALICE.

Vi vil også takke alle andre som har tatt seg tid til å besvare spørsmål og dele kunnskap med oss. Vi setter stor pris på at AF Gruppen, Kruse Smith og Holte har stilt med intervjuobjekter. Videre har Lars C. Christensen vært en verdifull kobling i forbindelse med artikkelen til «bygg.no».

Mandal, 14. juni 2020



Marita Grundberg Pedersen



Louise Benedikte Gjølseth Buene

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Abstract	ii
Forord.....	iii
Figurer.....	viii
Tabeller	x
Forkortelser.....	xi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Forskningsspørsmål	2
1.3 Omfang og avgrensninger.....	2
1.4 Oppgavens disposisjon.....	4
2 Metode	5
2.1 Forskningsdesign	5
2.1.1 Generelt om forskningsdesign	5
2.1.2 Bakgrunn for valg av forskningsmetoder	6
2.1.3 Datainnsamling	7
2.2 Litteraturstudie.....	8
2.2.1 Fremgangsmåte.....	9
2.2.2 Analyse av data.....	12
2.2.3 Evaluering av utførelse	12
2.3 Semistrukturerte intervjuer	13
2.3.1 Fremgangsmåte.....	13
2.3.2 Analyse av data.....	15
2.3.3 Evaluering av utførelse	17
2.4 Uformelle intervju.....	18
2.4.1 Fremgangsmåte.....	18
2.4.2 Analyse av data.....	19

2.4.3	Evaluering av utførelse	19
2.5	Casestudie	20
2.5.1	Fremgangsmåte	20
2.5.2	Analyse av data	22
2.5.3	Evaluering av utførelse	23
2.6	Artikkel til «bygg.no»	23
2.7	Vitenskapelig artikkel til IGLC 2021	24
2.8	Arbeidsmetode	25
2.8.1	Arbeid med oppgaven	25
2.8.2	Samarbeid med andre aktører	26
3	Teoretisk rammeverk	27
3.1	Generelt om byggeprosjekt og fremdriftsplanlegging	27
3.1.1	Byggeprosjekt	27
3.1.2	Fremdriftsplanlegging	29
3.1.3	Totalentreprise	30
3.1.4	Prosjektfaser	30
3.1.5	Subjektiv refleksjon	31
3.2	Dagens praksis for fremdriftsplanlegging	32
3.2.1	Arbeidsprosess	32
3.2.2	Påvirkende faktorer	33
3.2.3	Metoder og teknikker	35
3.2.4	Planhierarki	35
3.2.5	Programvarer	36
3.2.6	Visualisering	37
3.2.7	Subjektiv refleksjon	38
3.3	Bygningsinformasjonsmodell (BIM)	38
3.3.1	Generelt	38
3.3.2	Industry Foundation Classes (IFC)	39
3.3.3	Subjektiv refleksjon	40
3.4	Kunstig intelligens (KI)	40

3.4.1	Definisjon.....	40
3.4.2	Typer KI.....	41
3.4.3	Historie.....	42
3.4.4	KI i byggebransjen.....	43
3.4.5	Subjektiv refleksjon	44
4	Resultat fra intervju.....	45
4.1	Bruk av KI i fremdriftsplanlegging.....	45
4.1.1	Programvarer.....	45
4.1.2	Bruk av ALICE i Norge.....	53
4.2	Fordeler og ulemper ved bruk av KI.....	55
4.2.1	Utfordringer ved dagens praksis for fremdriftsplanlegging.....	56
4.2.2	Fordeler ved bruk av kunstig intelligens.....	58
4.2.3	Ulemper ved bruk av kunstig intelligens	59
4.3	Forutsetninger for bruk av KI	62
4.3.1	Aktører	63
4.3.2	Nytteverdi	64
4.3.3	Teknologi	65
4.3.4	Prosjekttype.....	67
4.3.5	Prosjektteam.....	68
5	Resultat fra casestudie.....	70
5.1	Bruk av KI i fremdriftsplanlegging.....	70
5.1.1	Prosjekt NærByen	70
5.1.2	Gjennomføring av casestudien.....	71
5.2	Fordeler og ulemper ved bruk av KI.....	83
5.2.1	Sammenlikning	84
5.2.2	Fordeler ved bruk av kunstig intelligens.....	89
5.2.3	Ulemper ved bruk av kunstig intelligens	90
5.3	Forutsetninger for bruk av KI	92
5.3.1	Aktører	92
5.3.2	Nytteverdi	93

5.3.3	Teknologi	93
5.3.4	Prosjekttype.....	94
5.3.5	Prosjektteam.....	95
6	Diskusjon	96
6.1	Bruk av KI i fremdriftsplanlegging.....	96
6.1.1	Muligheter på markedet	96
6.1.2	Erfaringer og bruk i Norge.....	97
6.1.3	Oppsummering.....	98
6.2	Fordeler og ulemper ved bruk av KI.....	98
6.2.1	Fordeler ved bruk av kunstig intelligens.....	98
6.2.2	Ulemper ved bruk av kunstig intelligens	101
6.3	Forutsetninger for bruk av KI	103
6.3.1	Aktører	104
6.3.2	Nytteverdi	104
6.3.3	Teknologi	105
6.3.4	Prosjekttype.....	106
6.3.5	Prosjektteam.....	107
6.3.6	Oppsummering.....	108
7	Konklusjon.....	111
7.1	Bruk av KI i fremdriftsplanlegging.....	111
7.2	Fordeler og ulemper ved bruk av KI.....	112
7.3	Forutsetninger for bruk av KI	113
8	Videre arbeid.....	117
	Referanser	118
	Vedlegg.....	123
	A – Oversikt litteratursøk	
	B – Intervjuguider	
	C – Artikkel og matrise til «bygg.no»	
	D – Utkast til vitenskapelig artikkel	
	E – Casestudie	

Figurer

Figur 1: Illustrasjon av valgt forskningsdesign.....	6
Figur 2: Skjermtklipp oversikt over søkeord og antall treff	10
Figur 3: Utdrag over evaluert litteratur fra litteratursøk	12
Figur 4: Illustrasjon av konstant komparativ metode	17
Figur 5: Illustrasjon over ulike typer produksjon (Bølviken, 2012).....	28
Figur 6: Illustrasjon av jerntrekanten.....	29
Figur 7: Eksempel på en fremdriftsplan i MS Project	30
Figur 8: Byggeprosessens faser (Eikeland, 2001).....	31
Figur 9: Illustrasjon for graf over usikkerhet mot informasjon	34
Figur 10: Illustrasjon av Gantt-diagram.....	37
Figur 11: Eksempel på AOA-nettverk	38
Figur 12: Eksempel på AON-nettverk	38
Figur 13: Kategorisering av ulike typer KI.....	41
Figur 14: Skjermtklipp fra ALICE.....	46
Figur 15: Illustrasjon over hvordan nPlan fungerer (Amratia, 2019).....	47
Figur 16: Skjermtklipp fra Kreo Plan	49
Figur 17: Illustrasjon av InEight Schedule (InEight, u.d.).....	50
Figur 18: Illustrasjon av Kwant.ai (Kwant, u.d.)	51
Figur 19: Illustrasjon av Holte Fremdrift.....	52
Figur 20: Illustrasjon av NærByen på kveldstid (Veidekke, 2020).	70
Figur 21: Oversikt over NærByen (Nærbyen, 2020)	71
Figur 22: Skjermtklipp av BIM fra NærByen i Revit.....	73
Figur 23: Generell arbeidsflyt fra BIM-plattform til ALICE (Alice Technologies, 2020).....	74
Figur 24: Opplasting i ALICE	75
Figur 25: Gruppering av stål i 3. etasje.....	76
Figur 26: "Supports" i ALICE	77
Figur 27: Prosjekttressurser i ALICE.....	77
Figur 28: Arbeidslag i ALICE	78

Figur 29: Materialvalg i ALICE	78
Figur 30: Kalendere i ALICE	79
Figur 31: "Recipe" for betongdekke	80
Figur 32: Utdrag fra Vedlegg E.2	81
Figur 33: Skjermtklipp av alternative planer i ALICE	82
Figur 34: Fremdriftsplaner i ALICE	82
Figur 35: Analyse av plan i ALICE	83
Figur 36: Hovedplan for NærByen	85
Figur 37: Fremdriftsplan laget i ALICE	85
Figur 38: Bilde fra NærByen tatt 01.02 (Foto: Roger Eggen)	88
Figur 39: Bilde fra NærByen tatt 16.05 (Foto: Roger Eggen)	88

Tabeller

Tabell 1: Forkortelser benyttet i oppgaven	xi
Tabell 2: Oversikt over oppgavens disposisjon	4
Tabell 3: Oversikt over noen kriterier for TONE-prinsippet	11
Tabell 4: Oversikt over intervjuobjekter	14
Tabell 5: Tidslinje over arbeidet med oppgaven	25
Tabell 6: Oversikt over kartlagte programvarer	45
Tabell 7: Oversikt over entreprenører i Norge som har testet ALICE	53
Tabell 8: Oversikt over utfordringer, fordeler og ulemper	55
Tabell 9: Oversikt over kartlagte forutsetninger fra intervju	63
Tabell 10: Oversikt over sammenligning, fordeler og ulemper	84
Tabell 11: Oversikt over varigheter for 1. etasje	86
Tabell 12: Sammenligning mot bilder av faktisk fremdrift	87
Tabell 13: Oversikt over kartlagte forutsetninger fra casestudien	92
Tabell 14: Oversikt over fordeler hentet fra resultat av intervju og casestudie	98
Tabell 15: Oversikt over ulemper hentet fra resultat av intervju og casestudie	101
Tabell 16: Forutsetninger for aktører	104
Tabell 17: Forutsetninger for nytteverdi	104
Tabell 18: Forutsetninger for teknologi	105
Tabell 19: Forutsetninger for prosjekttype	106
Tabell 20: Forutsetning for prosjektteam	107

Forkortelser

I Tabell 1 vises en oversikt over forkortelser som benyttes i oppgaven.

Tabell 1: Forkortelser benyttet i oppgaven

Forkortelse	Betydning
AI	Artificial Intelligence
AOA	Activity on Arrow
AON	Activity on Node
BAE	Bygg, anlegg og eiendom
BIM	Bygningsinformasjonsmodell
CCM	Constant Comparative Method
CIM	Construction Information Modeling
CMM	Construction Method Models
CPM	Critical Path Method
GUI	Grafisk brukergrensesnitt
IFC	Industry Foundation Classes
ISO	International Organization for Standardization
KI	Kunstig intelligens
PERT	Program Evaluation and Review Technique
RIB	Rådgivende ingeniør bygg
WBS	Work Breakdown Structure

1 Innledning

Dette kapitlet gir en introduksjon til masteroppgavens tema. Grunnlaget for arbeidet med resten av oppgaven vil bli presentert i bakgrunn, etterfulgt av oppgavens forskningsspørsmål, avgrensninger og disposisjon.

1.1 Bakgrunn

Store, komplekse byggeprosjekter betyr ofte store forsinkelser. I følge Mohammadpour m.fl. vil et byggeprosjekt ligge enten bak skjema eller over budsjett omtrent 50% av tiden (Mohammadpour m.fl., 2019). Prosjekter forsinkes i mange tilfeller på grunn av ineffektive fremdriftsplaner eller dårlig kalkulert risiko. Utallige antall aktiviteter må planlegges med riktig varighet og riktig rekkefølge. Hvis en enkelt oppgave planlegges feil, kan det skape konsekvenser for hele prosjektet. Et forsinket byggeprosjekt kan videre gi ringvirkninger i form av tapt produktivitet, tillit og omdømme, ved siden av de juridiske og økonomiske konsekvensene (Amratia, 2019).

På grunn av blant annet store variasjoner i prosjektspesifikke forhold, er fremdriftsplanlegging en kompleks oppgave. I dag foregår dette som regel ved hjelp av manuelle prosesser som typisk er tid- og ressurskrevende (K. W. Yeoh m.fl., 2017). Byggeprosjekter blir brutt ned i håndterbare aktiviteter, fag og områder for å skape oversikt og gjøre planleggingen overkommelig. Fremdriftsplanlegging krever videre stor kompetanse om innhold og informasjon i aktiviteter, varigheter og rekkefølger. Ettersom hvert byggeprosjekt har en unik karakter, tar planlegging mye tid og det brukes ofte tidsbufferer for å forsøke å dekke usikkerheter og uforutsette hendelser (Oprach m.fl., 2019). Selve prosessen kan ta flere måneder, og ofte må planleggere bruke gjetning eller egen erfaring for å estimere varighet og risiko.

Denne måten å fremdriftsplanlegge på innebærer altså stor usikkerhet. Generelt har mennesker tendenser til å huske det som skjedde sist best, og ønsker ofte å trekke frem positive hendelser fremfor negative (Mosca, 2020). Det resulterer i at erfaringer med aktiviteter som ble forsinket eller ikke gikk som planlagt i et tidligere prosjekt, gjerne blir neglisjert i neste prosjekt. Mennesket er simpelthen ikke i stand til å samle all kunnskap og lærdom fra prosjekter utført i fortiden. I tillegg vil mennesket ha et naturlig optimistisk perspektiv som gjør at det ofte planlegges for mer enn hva som realistisk blir utført i løpet av en gitt periode (Helgesen og Næss, 2012).

Tidligere var prosjekter gjerne mindre og mer håndterbare, slik at det var enklere å holde kontroll (Eber, 2020). Med utviklingen i retning av større og mer komplekse prosjekt, vil mennesket i dag ha utfordringer med å skape fremdriftsplaner av god kvalitet. Fremdriftsplanlegging kan altså sees på som et skaleringsproblem, ved at nøyaktig planlegging av omfattende byggeprosjekter er utenfor menneskelig evne. Etterhvert som prosjekter blir større og mer komplekse, vil dermed teknologi bli en økende viktig del av planleggingen.

Forskere har siden tidlig 1960-tallet forsøkt å få bukt med dette problemet, ved å utvikle verktøy og teknikker med ulike tilnærminger for å automatisk kunne generere fremdriftsplaner (Faghihi m.fl., 2015). Det er her kunstig intelligens kommer inn i bildet, og potensielt kan bidra (Mohammadpour m.fl., 2019). Kunstig intelligens kan tilby eksepsjonelle fordeler ved å blant annet øke automatisering i bransjen. Det kan videre brukes til å overvinne menneskelige begrensninger til behandling og berikelse av store datamengder.

Til tross for at forskning tilknyttet kunstig intelligens har vært arbeidet med siden 1950-tallet, har begrepet i dag fått en ny oppblomstring i både næringsliv og media (Tidemann, 2020). Det skyldes delvis at datakraften som muliggjør en bredere og dypere bruk av kunstig intelligens nylig ble oppgradert. Dette gir også et motiv for å undersøke hvordan bruk av kunstig intelligens kan implementeres i byggebransjen i dag, og i dette tilfellet, i fremdriftsplanlegging.

1.2 Forskningsspørsmål

Denne oppgaven ser nærmere på bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging. Først og fremst vil markedet og erfaringer i byggebransjen bli undersøkt. Videre vil oppgaven redegjøre for muligheter og utfordringer ved bruk av programvarer som benytter kunstig intelligens. Deretter vil oppgaven se nærmere på hva som må til for at kunstig intelligens skal brukes av entreprenører i fremtiden.

Følgende tre forskningsspørsmål er utarbeidet og besvart:

1. Hvordan kan kunstig intelligens brukes i fremdriftsplanlegging?
2. Hva er fordeler og ulemper med å utarbeide fremdriftsplaner ved hjelp av kunstig intelligens, sammenlignet med tradisjonell fremdriftsplanlegging?
3. Hvilke forutsetninger bør være til stede for at totalentreprenører skal ta i bruk kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i fremtidige prosjekter?

1.3 Omfang og avgrensninger

Oppgaven er avgrenset med hensyn til å ha størst relevans for norsk byggebransje. For å møte tidsramme og begrense oppgavens omfang, er følgende forhold definert:

Tidsramme

Masteroppgaven er gjennomført av to studenter våren 2020 ved NTNU. Den representerer totalt 60 studiepoeng, og ble utført over 20 uker som er standard tidsramme. En lengre tidsramme ville med stor sannsynlighet ha ledet til et mer representativt og valid resultat, ettersom det ville muliggjort en større casestudie og flere intervjuer med mer dybde. Tidsrammen har ført til forenklinger med hensyn til casestudiet, og også begrensninger med hensyn til intervjuobjekter.

Kunnskapsnivå

Før arbeidet med denne oppgaven startet, hadde begge forfattere begrenset kunnskap tilknyttet kunstig intelligens og fremdriftsplanlegging. Ettersom begge forfattere også hadde en fullført bachelor fra før, ble det ikke gjennomført noe forberedende prosjektoppgave høsten 2019. Det har medført en bratt læringskurve.

Bransje

Oppgaven tar kun for seg bruk av kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i byggeindustrien, og går altså i bredden av byggeprosjekt i stedet for på tvers av industri. Videre har det vært avgrenset til å undersøke forskningsspørsmålene fra totalentreprenørers perspektiv. I tillegg er informasjon og kunnskap fra programvareleverandører blitt benyttet.

Prosjekt og fase

Oppgaven er avgrenset til bygg, fremfor anleggsprosjekter. Utover dette er det ikke satt noen spesifikk avgrensning når det gjelder type bygg, eksempelvis bolig- eller næringsbygg. Når det gjelder størrelse på prosjekt, er det fokusert på større byggeprosjekter i totalentrepriser. Det er først og fremst fokusert på tidligfase og prosjektering, men også planlegging som foregår underveis i gjennomføringsfasen.

Litteraturstudie

Ettersom forfatterne først og fremst ønsket forskningstyngde til oppgaven gjennom intervju og casestudie, er det kun blitt utført et «scoping literature review». Det er valgt å ikke gå i dybden i informasjonsteknologien som ligger bak kunstig intelligens. Det har blitt søkt både på engelsk og norsk litteratur, for å øke antall treff.

Intervju

Det er avholdt syv intervjuer med norske entreprenører, og to intervjuer med en norsk programvareleverandør. Disse ble valgt fordi de tilsynelatende var de eneste som hadde erfaring med masteroppgavens tema i Norge. Flere intervjuer ville styrket resultatenes validitet, men lot seg ikke gjøre grunnet mangel på erfaringer i den norske byggebransjen og oppgavens tidsramme. I tillegg ble det avholdt uformelle intervju med seks programvareleverandører. Det er ikke gått i dybden av algoritmene bak disse verktøyene.

Casestudie

Casestudien ble avgrenset til å fokusere på ett prosjekt hos Veidekke, med bruk av én programvare. Ideelt sett hadde det blitt oppnådd større spredning i resultat av å studere både flere prosjekt og programvare, men grunnet tidsperspektivet lot ikke dette seg gjøre. Det ble valgt å studere råbygget til et boligprosjekt, grunnet repeterende struktur med færre elementer å holde kontroll over. Casestudien fokuserer i stor grad på tidsperspektivet av fremdriftsplanlegging, og kostnader er mindre vektlagt.

1.4 Oppgavens disposisjon

I Tabell 2 presenteres lesestruktur for oppgaven. Dette skaper oversikt og vil forenkle lesing for leser.

Tabell 2: Oversikt over oppgavens disposisjon

Kapittelnavn	Innhold
Innledning	Kapittel 1 inneholder bakgrunn for oppgaven, forskningsspørsmål, omfang og avgrensninger. Denne delen setter rammer for det videre arbeidet med oppgaven.
Metode	Kapittel 2 gjør rede for oppgavens forskningsdesign for innhenting av empiri. Dette inkluderer litteraturstudie, semistrukturerte intervjuer, casestudie og uformelle intervju.
Teoretisk rammeverk	Kapittel 3 presenterer teori som er innhentet gjennom litteraturstudie. Dette representerer eksisterende kunnskap tilknyttet relevant tematikk i oppgaven, og danner grunnlag for å kunne svare på forskningsspørsmålene.
Resultat del 1	Kapittel 4 består av den analyserte empirien fra semistrukturerte og uformelle intervju, som danner grunnlag for videre diskusjon.
Resultat del 2	Kapittel 5 består av analysert data som er hentet ved gjennomføring av casestudie, som danner grunnlag for videre diskusjon.
Diskusjon	Kapittel 6 diskuterer funnene fra analysen i Kapittel 4 og 5, og knytter det opp mot teorien fra Kapittel 2. Forskningsspørsmålene blir drøftet hver for seg.
Konklusjon	Kapittel 7 presenterer en konklusjon for hvert forskningsspørsmål.
Videre arbeid	Kapittel 8 presenterer forslag til videre forskning av tematikken.

2 Metode

I dette kapittelet presenteres forskningsmetodene som er benyttet for å besvare oppgavens forskningsspørsmål. Innledningsvis redegjøres det for valgt forskningsdesign, før hver forskningsmetode blir presentert. For hver forskningsmetode blir det presentert fremgangsmåte for utførelse, rammeverk for analyse av data, og evaluering av utførelse. I tillegg blir det presentert hvordan arbeidet med å utarbeide artikkel til «bygg.no» og IGLC 2021 har foregått. Avslutningsvis blir arbeidsmetode for forfatterne beskrevet.

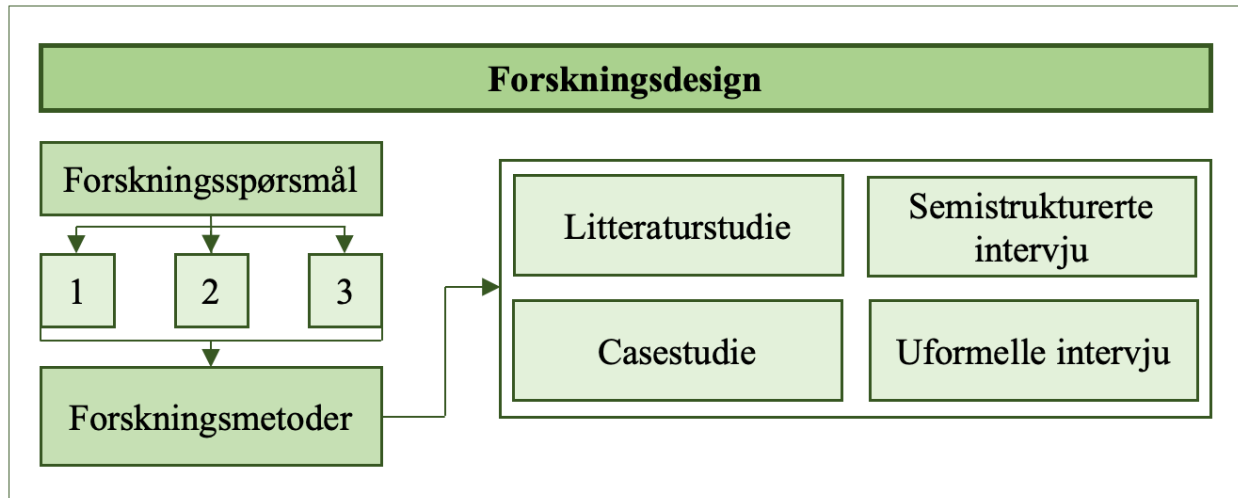
2.1 Forskningsdesign

2.1.1 Generelt om forskningsdesign

Et forskningsdesign kan betraktes som en overordnet plan over forskningsmetoder for en studie, og forteller hvordan én eller flere problemstillinger skal belyses og kunne besvares (Sander, 2019). Hvilke forskningsmetoder som velges til forskningsdesignet vil avhenge av målet med forskningen, og det må derfor velges i lys av forskningsspørsmålene. Det er valgt forskningsmetoder til denne oppgaven som gir en systematisk fremgangsmåte til å besvare oppgaven på en strukturert og etterprøvbare måte. Ulike forskningsmetoder har ulike styrker og svakheter, og må derfor velges basert på hva de har til hensikt å oppnå, tatt begrensningene til studiet i betraktning (Dalland, 2012).

Det kan skilles mellom kvantitative og kvalitative forskningsmetoder. Kvantitativ metode benyttes for å analysere et stort antall enheter, og det arbeides med tallmateriale og statistikk (Dahlum, 2019a). Kvalitativ metode benyttes for å vektlegge forståelse og analyse av sammenhenger i en prosess, fremfor opptelling av fenomener eller kjennetegn (Dahlum, 2019b). I denne oppgaven er det valgt å fokusere på kvalitative metoder, der det oppnås god dybdeinnsikt til forskningsspørsmålene, og subjektive meninger blir tolket og analysert.

Figur 1 illustrerer hvilket forskningsdesign og -metoder som er valgt for denne oppgaven. Videre i dette kapittelet er de valgte forskningsmetodene presentert i hvert sitt eget delkapittel. Fremgangsmåte blir beskrevet for hver metode for å sikre gjennomsiktlige og etterprøvbare resultater. Deretter blir det presentert hvordan resultatet fra forskningsmetoden har blitt analysert for videre bruk. Til slutt blir det beskrevet en subjektiv evaluering for hver utført metode, som belyser styrker og svakheter som har inntruffet.



Figur 1: Illustrasjon av valgt forskningsdesign

2.1.2 Bakgrunn for valg av forskningsmetoder

Valgte metoder

Det er viktig å bruke forskningsmetoder som gjør at resultatene er til å stole på. Med fokus på pålitelighet (reliabilitet) og gyldighet (validitet) kan dette oppnås. I kvalitative forskningsmetoder forteller Samset at det i utgangspunktet er utfordrende å sikre pålitelighet (Samset, 2015). Analyse og evaluering baseres på meninger fra et subjektivt perspektiv, og den definisjonsmessige gyldigheten vil derfor være avgjørende for hvor god vurderingen blir. Det vil videre være viktig å sikre at metoden gir en gjennomiktig prosess slik at oppgavens resultat får et pålitelig resultat som er etterprøvbart, og som styrker validitet og reliabilitet.

Oppgaven skal i hovedsak ta for seg tematikkene kunstig intelligens og fremdriftsplanlegging. Ettersom det ved et innledende søk ble observert at det ikke er mye erfaring i bransjen ved bruk av programvare som tilbyr dette, er det blitt fokusert på kvalitative metoder som gir dybde i stedet for bredde. Følgende forskningsmetoder er valgt for denne oppgaven:

- Litteraturstudie
- Semistrukturerte intervju
- Uformelle intervju
- Casestudie

Oppgaven startet med et litteratursøk som skulle innhente teori og legge en grunnleggende base for å kunne besvare forskningsspørsmålene. Dette er en viktig del, ettersom forfatterne hadde lite kunnskap tilknyttet kunstig intelligens og fremdriftsplanlegging. Resultat fra litteratursøk er presentert i kapittel 3.

Videre er det gjennomført semistrukturerte intervjuer. Ettersom oppgaven fokuserer på erfaringer og den praktiske bruk av programvare, bidrar informasjon og kompetanse fra ulike intervjukandidater i byggebransjen direkte til å kunne besvare alle forskningsspørsmålene. I tillegg er det blitt gjennomført uformelle intervju. Dette ble gjort for å undersøke erfaringer og muligheter på markedet med hensyn til programvarer, og besvarer først og fremst det første forskningsspørsmålet. Funn fra både semistrukturerte og uformelle intervjuer er presentert i kapittel 4.

Til slutt er det utført en casestudie for å teste programvare og sammenligne mot tradisjonell fremdriftsplanlegging. Dette er gjort for å skape et subjektivt perspektiv på hvordan bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging fungerer i praksis. Det er valgt å presentere resultatet fra casestudien i et eget kapittel, fordi intervjuene og casestudien har gitt ulike resultater. Det opplevdes derfor som mest oversiktlig å presentere resultatene hver for seg. Resultatene fra casestudien er presentert i kapittel 5. Deretter er resultatene sammenstilt for drøfting i kapittel 6.

Triangulering

Ulike metoder kan gi ulike resultater, som vil påvirke analysen av funnene. Ved å benytte triangulering, som innebærer å benytte mer enn én metode for å belyse et tema, øker validitet og reliabilitet til forskningen (Røykenes, 2009). Kombinasjonen av de fire presenterte forskningsmetodene bidrar derfor til å styrke masteroppgavens troverdighet. Gjennom triangulering kan det å anvende en ekstra metode kompensere for en svakhet ved en annen metode. Ved å kombinere teoretisk grunnlag fra litteraturstudie sammen med faktiske erfaringer fra byggebransjen, i tillegg til subjektiv observasjon av egen casestudie, blir det oppnådd en større faglig forskningstyngde til å trekke bedre beslutninger.

2.1.3 Datainnsamling

Datainnsamlingen fra forskningsmetodene har forsøkt å ta utgangspunkt i følgende fire prinsipper (Yin, 2014):

- Benytte ulike kilder eller metoder.

Dette øker reliabiliteten, og ved flere metoder er det mulig å triangulere funnene og kunne bekrefte valide resultater ved sammenligning av ulike kilder. Dette ble gjort ved å benytte både litteraturstudie, intervju og casestudie.

- Utarbeide en database for funnene.

Databasen bør struktureres og organiseres nøye for å sikre lett tilgjengelig informasjon. På denne måten økes påliteligheten til forskningen. For denne oppgaven ble all data samlet i den skybaserte lagringstjenesten OneDrive, og organisert i et mappesystem. Det sikret også at begge forfattere hadde tilgang på all informasjon.

- Sikre sporbarhet.

Ved benyttede forskningsmetoder må det dokumenteres hvor data og informasjon kommer fra, og når den ble innhentet. Også dette sikrer pålitelighet til forskningen. En tilsvarende studie burde da kunne gjenskape omtrent samme resultat. Dette er blitt ivaretatt i oppgaven, og er forklart spesifikt for hver forskningsmetode.

- Utøve forsiktighet ved elektroniske kilder.

Tilgjengelig informasjon på internett og sosiale medier kan være overveldende, og er ikke alltid like nøyaktig. All litteratur som er håndtert i denne oppgaven er derfor blitt vurdert nøye etter blant annet TONE-prinsippet, og det er forsøkt å etterstrebe fagfelleverderte publikasjoner.

2.2 Litteraturstudie

Hensikten med litteraturstudiet har vært å kartlegge og vurdere referanser som kan knyttes opp mot tematikken og forskningsspørsmålene. Informasjonen fra denne prosessen kan bidra til å danne et teoretisk fundament under drøfting av de øvrige resultatene i oppgaven. I tillegg er det viktig for å sette egen forskning i sammenheng med eksisterende litteratur. Litteratursøket har bidratt til å finne tilgjengelig litteratur innenfor forskningsområdet, som har gitt utgangspunkt for å identifisere både eksisterende forskning og kunnskapshull.

Litteraturstudier kan bidra til å gi en god faglig tyngde som kan benyttes til å støtte opp under egne resultater. Det vil også styrke oppgavens objektivitet ved at resultater kan bekreftes i allerede eksisterende litteratur (Grant og Booth, 2009). Det er imidlertid kritisk å finne fersk litteratur, da spesielt emner innen digitalisering som bygningsinformasjonsmodellering og kunstig intelligens endrer seg raskt. Det er også fare for å gå glipp av litteratur på grunn av et dårlig litteratursøk med for eksempel mindre optimale søkeord. I tillegg er det en stor svakhet at forfatterne kan velge ut litteratur som støtter de resultatene som de ønsker selv.

Litteratursøket har vært todelt. Ettersom det ikke ble utført noe prosjektoppgave i forkant av masteroppgaven, ble det i første omgang gjennomført et «scoping» litteratursøk. Dette går ut på å raskt kartlegge nøkkelbegreper og tilgjengelige referanser (Fulop et al., 2001). En slik type litteratursøk har til hensikt å undersøke bredden av et tema fremfor dybden. I denne oppgaven ble det utført et «scoping» litteratursøk for temaet kunstig intelligens under tidligfase i byggeprosjekter. Etter noen uker ble det foretatt et nytt søk som var mer tilspisset mot de utarbeidede forskningsspørsmålene. Prosessen for litteratursøket er notert i et eget skjema som har egen koding for søkekombinasjoner og database, og kan sees i Vedlegg A.1-A.3.

I tillegg til et tradisjonelt litteratursøk, har begge forfattere gjennomført deler av et kurs om kunstig intelligens som ble publisert på NTNUs intranett. Kurset er i regi av Reaktor, Helsingfors Universitet og Feed, og hadde til hensikt å gi grunnleggende kunnskap om emnet, også kalt KI-løftet (Temu og Valtonen, 2020a). Deler av kurset ble gjennomført ettersom det var mangel på kunnskap om kunstig intelligens hos begge forfatterne, som ikke har hatt noen tidligere erfaring med temaet.

2.2.1 Fremgangsmåte

Søketeknikk er basert på NTNU Universitetsbibliotekets anbefalinger til litteratursøk og kildekritikk (Brodshaug, 2019). Fremgangsmåten for litteratursøket har tatt utgangspunkt i rammeverket utviklet av Arksey og O'Malley (2007). Utførelsen er delt inn i fem faser:

Fase 1: Identifisere forskningsspørsmål

Fase 2: Identifisere relevante publikasjoner

Fase 3: Litteraturutvelgelse

Fase 4: Kartlegging av data

Fase 5: Samle, oppsummere og rapportere resultatene

For det første utførte litteratursøket nevnt innledningsvis ble kun fase 1 og fase 2 gjennomført, hvor det i første fase ble identifisert et forskningsområde fremfor forskningsspørsmål. I det andre litteratursøket ble samtlige faser utført. Videre presenteres fremgangsmåten for de fem fasene. Mellom fase 2 og 3 har det vært en naturlig iterativ prosess etterhvert som arbeidet har gått fremover, og det har blitt innhentet ny relevant informasjon.

Fase 1: Identifisere forskningsspørsmål

Identifisering av forskningsspørsmål ble gjort ved å ta utgangspunkt i tematikken bruk av kunstig intelligens under prosjektplanlegging. Etterhvert som søket foregikk, og samtaler med personer fra byggebransjen ble foretatt, ble forskningsspørsmål utarbeidet og spisset i samarbeid med veileder.

Fase 2: Identifisere relevante publikasjoner

Denne fasen ble som nevnt utført to ganger, ettersom det var nødvendig å foreta mer kontrollerte søk etterhvert som forskningsspørsmålene ble tilspisset. På bakgrunn av denne gjentakelsen kan et «scoping» litteratursøk kalles for en iterativ prosess, som kan bidra til å eliminere faren for å utelate relevant informasjon.

Til litteratursøket er det blitt benyttet elektroniske databaser og søkemotorer som hovedinformasjonskilde. Databasene ble valgt ut i samtale med veileder, og etter inspirasjon fra skrivekurs med forsker Jardar Lohne ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Flere databaser bidrar til en bredere oversikt over tilgjengelig litteratur. De benyttede databasene er:

- Oria
- ASCE
- Scopus
- Web of Science
- Science Direct
- Google Scholar

Et utdrag av resultat for ulike søkeord og kombinasjoner er fremstilt i Figur 2. Full oversikt kan sees i Vedlegg A.1.

Søkeord		Oria (A)	ASCE (B)	Scopus (C)	Web of Science (D)	Science direct (E)	Google Scholar (F)
<i>Første litteratursøk</i>							
((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction	(0)	141824	4447	11934	2023	172649	2880000
AND AEC	(1)	952	160	40	4	1551	12400
AND BIM	(2)	1617	231	99	20	936	12000
AND AEC AND BIM	(3)	92	77	11	-	115	2210
<i>Andre litteratursøk</i>							
((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction							
AND "scheduling"	(4)	21984	683	326	54	18829	230000
AND "scheduling" AND "software"	(5)	4814	376	45	10	9048	126000
AND "scheduling" AND "BIM"	(6)	383	75	4	2	287	2510

Figur 2: Skjermtklipp oversikt over søkeord og antall treff

Det er hovedsakelig blitt utført søk med engelske ord, ettersom innledende litteratursøk viste at det var få kilder på norsk. Det har bevisst blitt søkt på «scheduling» og ikke «planning», da dette er to begreper som skiller på engelsk. Alle søk er sortert etter nyere dato i stedet for relevans, for å sikre at fersk litteratur ikke ble utelatt. Søkeoperatører har tatt utgangspunkt i Science Direct sin «search guide» (Elsevier, u.d.).

I løpet av det andre litteratursøket forekom det en iterasjon mellom fase 2 og 3 ettersom det dukket opp nye søkeord som kunne være spennende å se nærmere på. Da ble det fokusert på ASCE og Scopus, ettersom de ga de mest relevante treffene ved første iterasjon.

Fase 3: Litteraturutvelgelse

De ulike søkeord og kombinasjoner ga ofte mange treff. Det var derfor nødvendig å benytte filtrering av resultatene, for å utelukke irrelevante referanser. Når filtreringen resulterte i under cirka 150 treff, ble det vurdert som tilfredsstillende nok til å gå gjennom treffene. Det ble bevisst søkt med identiske søkeord i alle databaser, for å sikre likt sammenligningsgrunnlag. Type filtrering har derimot variert for hver database, ettersom de har ulike kategorier for filtrering.

Etter utført filtrering ble det foretatt en manuell kontroll for å luke ut litteratur som ikke innehar relevans for forskningsområdet. Denne søketeknikken har tatt utgangspunkt i NTNU Universitetsbibliotekets anbefalinger til litteratursøk (Brodshaug, 2019). Samtlige publikasjoner som gjenstod etter filtrering ble vurdert etter følgende kriterier:

- Er tittel relevant?
- Er nøkkelord relevante?
- Er abstrakt relevant?

Ble det svart ja på disse spørsmålene, ble publikasjonen satt opp i et eget skjema vist i Vedlegg A.2. I tillegg til denne sjekken, ble det gjort hurtig kontrolløk etter «Artificial Intelligence», «Scheduling» og «Software» i all litteratur for å kontrollere relevans. Flere av artiklene hadde bare nevnt disse begrepene uten å gå nærmere inn i detalj, og disse ble da også forkastet før neste fase.

Fase 4: Kartlegging av data

Den gjenværende litteraturen ble deretter tatt med gjennom en ny manuell sjekk mot ytterligere kriterier. All litteratur ble gjennom forfatter(e), utgivelsesår, utgiver og type dokument vurdert etter TONE-prinsippet. Tabell 3 viser vurderingskriterier som ble vektlagt. Dersom en referanse ble vurdert for dårlig for flere av disse punktene, ble den forkastet.

Tabell 3: Oversikt over noen kriterier for TONE-prinsippet

	TONE-PRINSIPPET			
	Troverdighet	Objektivitet	Nøyaktighet	Egnethet
Vurderingskriterier	Kunnskapsrik og anerkjent forfatter/utgiver? Publiseringskanal? Kvalitetskontroll? Fagfelleurdert?	Objektiv og balansert? Fravær av interessekonflikt? Overtale eller informere? Er flere sider av saken belyst?	Oppdatert kilde? Detaljert og eksakt? Kan informasjonen bekreftes i minst to andre kilder? Vitenskapelig og akademisk språk?	Relevant? Informasjonsbehov? Hvem er den skrevet for? Gir problemstillingen nytt lys?

Litteratur som ble betraktet som god nok etter denne vurderingen, fikk deretter utført «backward snowballing». Det innebærer at de allerede godkjente kildene sine referanser, ble benyttet for å finne flere relevante artikler, ved å studere referanselisten. I dette litteratursøket var de fleste relevante kildene i referanselistene allerede dekket gjennom søket, og det var derfor lite utbytte av denne metoden.

Fase 5: Samle, oppsummere og rapportere resultatene

All litteratur som oppfylte kriteriene til TONE-prinsippet, samt de artiklene som ble funnet ved hjelp av «backward snowballing», ble samlet i et eget skjema. Et utdrag er vist i Figur 3, og resten kan sees i Vedlegg A.3. Denne litteraturen ble deretter lest nøye gjennom, for å kunne hente ut og bruke informasjon i oppgaven.

Evaluerte referanser							
Kode	Tittel	År	Forfatter(e)	Land	Type	Nøkkelord	Link
A6.001	Potentials of artificial intelligence in construction management	2020	Eber Wolfgang	Zagreb	Research paper	Building Information Model (BIM), complexity, construction management, real-estate management, artificial intelligence, coordination, organisation	https://sea
B2.002	Generating Construction Project Plans	1988	Raymond E. Levitt, Nabil A. Kartam, John C. Kunz	USA	Journal paper	Artificial intelligence, Systems engineering, Construction equipment, Project management, Construction methods, Computer software	https://asc
B5.003	Work-Package Planning and Schedule Optimization for Projects with Evolving Constraints	2016	Zinab Abuwarda, Tarek Hegazy	Canada	Journal paper	Construction, Schedule compression, Acceleration, Crashing, Overlapping, Constraint programming, Optimization.	https://asc
B5.005	A Process for the Estimation of the Duration of Activities in Fuzzy Project Scheduling	2012	A. Maravas, J. P. Pantouvakis	Hellas	Conference paper	Project management, Uncertainty principles, Scheduling, Earthwork, Parameters (statistics), Fuzzy sets, Risk management, Statistics	https://asc
B6.002	Construction Method Models Using Context Aware Construction Requirements for Automated Schedule Generation	2017	Justin K. W. Yeoh, T. Q. Nguyen, Ernest L. S. Abbott	Singapore	Conference paper	Automation, Scheduling, Project management, Construction engineering, Construction management, Knowledge-based systems, Construction methods, Architectural engineering	https://asc
C1.004	Application of Artificial Intelligence Methods in Sustainable Building Design	2019	Ewa Gilner, Adam Galuszka, Tomasz Grychowski	Polen	Conference paper	AEC managing tools, Architectural design, Decision making, Knowledge Based Engineering, Pareto genetic algorithms	https://www

Figur 3: Utdrag over evaluert litteratur fra litteratursøk

2.2.2 Analyse av data

Resultatene fra litteratursøket blir presentert i teoretisk rammeverk. Informasjonen har allerede blitt analysert gjennom TONE-prinsippet, slik at det som blir presentert skal være gyldig og troverdig. Det er forsøkt å presentere informasjon som kan valideres i flere referanser. Videre er det forsøkt å presentere objektiv teori som gir lesere nødvendig informasjon og kontekst til å forstå det som blir presentert i resultat. Deler av den presenterte teorien blir senere hentet ut, for å kunne drøfte resultat som blir forankret i teori.

2.2.3 Evaluering av utførelse

Hele prosessen med litteratursøket er godt dokumentert i en egenlaget database, og anses som en styrke ved at forskningsmetoden blir svært gjennomiktig og etterprøvbare. Det er i hovedsak kun brukt litteratur som er fagfellevurdert, ved unntak av et par masteroppgaver og enkelte tidsskriftsartikler som har blitt brukt som inspirasjon eller utgangspunkt for videre søk. Dette øker troverdigheten til oppgaven.

Ved oppstart av litteratursøket opplevdes det utfordrende å skape oversikt, fordi både kunstig intelligens og prosjektplanlegging er to bredt utforskede temaer. Det var utfordrende å finne riktige søkeord, databaser og fremgangsmåte. All aktuell litteratur ble kanskje ikke funnet i starten grunnet svak søkestrategi. Dette hadde imidlertid ikke noen stor innvirkning, da det uansett ble utført et andre litteratursøk litt senere i prosessen når oppgaveformulering hadde fått modnet.

Den største svakheten er om mulig at det mangler litteratur som belyser erfaringer med bruk av programvarer som benytter kunstig intelligens under fremdriftsplanlegging, men det er tross alt et kunnskapshull som denne oppgaven bidrar til å tette deler av. Et annet uventet hinder var at Covid-19 situasjonen gjorde at biblioteker ble stengt fra midten av mars, og det førte til at noe av den litteraturen som var planlagt å bruke ikke var tilgjengelig.

Listen av litteratur som omhandler fremdriftsplanlegging er svært lang, og kanskje ett av de mest utbredte emnene innfor prosjektledelse. Også begrepet kunstig intelligens er dekket i en enorm bredde. Kombinasjonen av fremdriftsplanlegging og kunstig intelligens var også å finne, men det var derimot tilsynelatende få artikler som da ikke gikk i dybden av algoritmer eller lignende. Det lykkes heller ikke i noen særlig grad å finne litteratur som inneholdt erfaringer eller informasjon om bruk av programvarene som denne oppgaven fokuserer på.

Minimalt av den benyttede litteraturen var på norsk eller av norsk opprinnelse. Ettersom informasjon som ble trukket ut til teorikapittelet ikke omhandlet erfaringer eller bruk av programvaren, kan likevel generell informasjon om eksempelvis kunstig intelligens eller bygningsinformasjonsmodellering brukes uten å måtte ta stor høyde for forskjeller i kultur eller praksis på tvers av landegrensler.

Alt i alt sitter forfatterne igjen med en følelse av et vell gjennomført litteratursøk, og presenterte svakheter ved utførelse har ikke tilsynelatende gått utover kvaliteten av informasjonen.

2.3 Semistrukturerte intervjuer

En sentral del av oppgaven har vært å gjennomføre semistrukturerte intervjuer, for å innhente erfaringer fra den norske byggebransje om bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging. Intervju har den fordelen at det kan stilles spesifikke spørsmål om et konkret problem, og deretter få god forklaring og innsikt i et personlig perspektiv (Tranvik, 2005). Det resulterer i detaljert data som gir dybde i forskningen, i tillegg til at det kan stilles relevante oppfølgingsspørsmål. Det er imidlertid kritisk for påliteligheten til resultatet om spørsmålet blir oppfattet riktig for intervjuobjektet, og om intervjuer forstår svaret riktig.

2.3.1 Fremgangsmåte

Valg av informanter

Ved oppstart av oppgaven ble det holdt en rekke samtaler og møter med ulike entreprenører og andre aktører i byggebransjen. Totalt ble 12 av Norges største entreprenører kontaktet, og det ble gjennomført møter med flere av disse. I tillegg ble aktuelle internasjonale programvareleverandører og flere andre relevante fagpersoner kontaktet. Basert på dette ble det kartlagt hvem som hadde erfaring knyttet til oppgavens forskningsområde.

Det ble valgt å avgrense de semistrukturerte intervjuene til norske aktører, både for entreprenører og programvareleverandører. Gjennom en kartleggingsprosess kom det frem at det kun er ett aktuelt verktøy som i dag er testet av entreprenører i Norge, et amerikanskprodusert program kalt ALICE. I tillegg finnes det en programvare som er i gang med å utvikles i Norge, kalt Holte Fremdrift. Intervjuene er derfor begrenset til norske aktører med erfaring med disse to programvarene.

Etter forfatterens kjennskap er det kun tre av de største entreprenørene i Norge som har testet ALICE. Dette er AF Gruppen, Kruse Smith og Veidekke. Samtlige stilte seg positive til å bidra med sin kunnskap og informasjon. Erfaringer er dermed hentet gjennom intervjuer med disse tre entreprenørene. I tillegg er representanter fra programvareleverandøren Holte intervjuet om deres programvare Holte Fremdrift, som etter planen skal lanseres i løpet av 2020. Totalt ni personer ble intervjuet om bruken av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging. En oversikt over intervjuobjektene er vist i Tabell 4, inkludert type aktør, bedrift og programvare.

Tabell 4: Oversikt over intervjuobjekter

Intervjuobjekt	Aktør	Bedrift	Programvare
Intervjuobjekt A	Entreprenør	AF Gruppen	ALICE
Intervjuobjekt B	Entreprenør	AF Gruppen	ALICE
Intervjuobjekt C	Entreprenør	AF Gruppen	ALICE
Intervjuobjekt D	Programvareleverandør	Holte	Holte Fremdrift
Intervjuobjekt E	Programvareleverandør	Holte	Holte Fremdrift
Intervjuobjekt F	Entreprenør	Veidekke	ALICE
Intervjuobjekt G	Entreprenør	Veidekke	ALICE
Intervjuobjekt H	Entreprenør	AF Gruppen	ALICE
Intervjuobjekt I	Entreprenør	Kruse Smith	ALICE

Intervjuguide

To intervjuguider ble utarbeidet for å kunne lede samtalen og hente ut informasjon og erfaringer fra intervjuobjektene. Målet med semistruktur er å skape en fri samtale rundt temaet, med åpne svaralternativ som gir mulighet til å gå i dybden (Tjora, 2017). Dette blir gjort fremfor å systematisk måtte hente ut svar for hvert enkelt spørsmål i intervjuguiden. Dermed er det mulig å bruke mer tid på enkelte spørsmål enn andre, avhengig av informantens innsikt i tematikken.

Det ble tidlig besluttet å lage to ulike intervjuguider, en for entreprenører og en for programvareleverandører. Dette ble valgt for å kunne tilpasse spørsmålene til det faktum at intervjuobjektene ville representere to ulike sider av bransjen og markedet. De to intervjuguidene følger likevel i stor grad samme struktur, og er utarbeidet med hensyn til å kunne gjøre analysering og presentasjon av resultat enklere. Det ble derfor valgt å dele inn i fem hovedkategorier, hvor hver kategori deretter ble delt inn i tre spørsmål som har en direkte kobling til forskningsspørsmålene. Intervjuguidene kan sees i sin helhet i Vedlegg B.1 og B.2.

Intervjuprosessen

De aktuelle intervjukandidatene ble kontaktet for avtale av tidspunkt for intervju og sted. På grunn av Covid-19 situasjonen ble det etterhvert valgt å gå over til videointervjuer i stedet for fysiske møter. Før intervjuet fikk intervjuobjektene tilsendt spørsmålene, slik at de kunne forberede seg dersom det var ønskelig.

Intervjuene ble delt mellom forfatterne, slik at det ble byttet annenhver gang på hvem som stilte spørsmål og hvem som noterte underveis. Hvert intervju startet med å spørre informanten om samtykke til at intervjuet ble tatt opp og transkribert. Intervjuguiden var delt i fire deler og startet med at intervjuerne fortalte om seg selv. Deretter fikk informanten fortelle om sin bakgrunn, før nøkkelspørsmålene rundt masteroppgavens forskningsspørsmål ble stilt. Intervjuene hadde til slutt en kort avslutning.

Intervjuguiden ble fulgt under hele intervjuet ved at intervjuer stilte spørsmål og intervjuobjektet fortalte uten avbrudd, med unntak av oppfølgingsspørsmål. Enkelte spørsmål ble sløyfet underveis dersom intervjuobjektene allerede hadde svart på spørsmålet, eller det ikke opplevdes som relevant for intervjuobjektet basert på vedkommendes erfaring eller bakgrunnskunnskap. Utover dette ble spørsmålene svart på i den grad det var mulig for informantene å svare.

Etter intervjuet var gjennomført ble det transkribert, og deretter sendt ut til informanten slik at vedkommende fikk mulighet til å rette opp i eventuelle misforståelser eller supplere dersom det var nødvendig. Ved godkjenning eller retur av dokumentet bekreftet intervjuobjektet at det som var sagt og skrevet ned kunne brukes videre i arbeidet.

2.3.2 Analyse av data

Ved analyse av intervjuene ble det tatt utgangspunkt i Creswell sine seks steg for analyse av data (Knotten, 2018). Dette rammeverket har til hensikt å sortere, kategorisere og tolke resultater, og videre kunne presentere funnene på en ryddig og oversiktlig måte. Funnene fra intervjuene danner med dette en del av oppgavens resultat i kapittel 4.

Creswell sine seks steg for analyse av data er som følger:

1. Samle, organisere og forberede all data for analyse
2. Danne et helhetlig inntrykk av dataene
3. Åpen koding av data
4. Aksial koding av data
5. Selektiv koding av data
6. Tolke innsamlet og sortert data

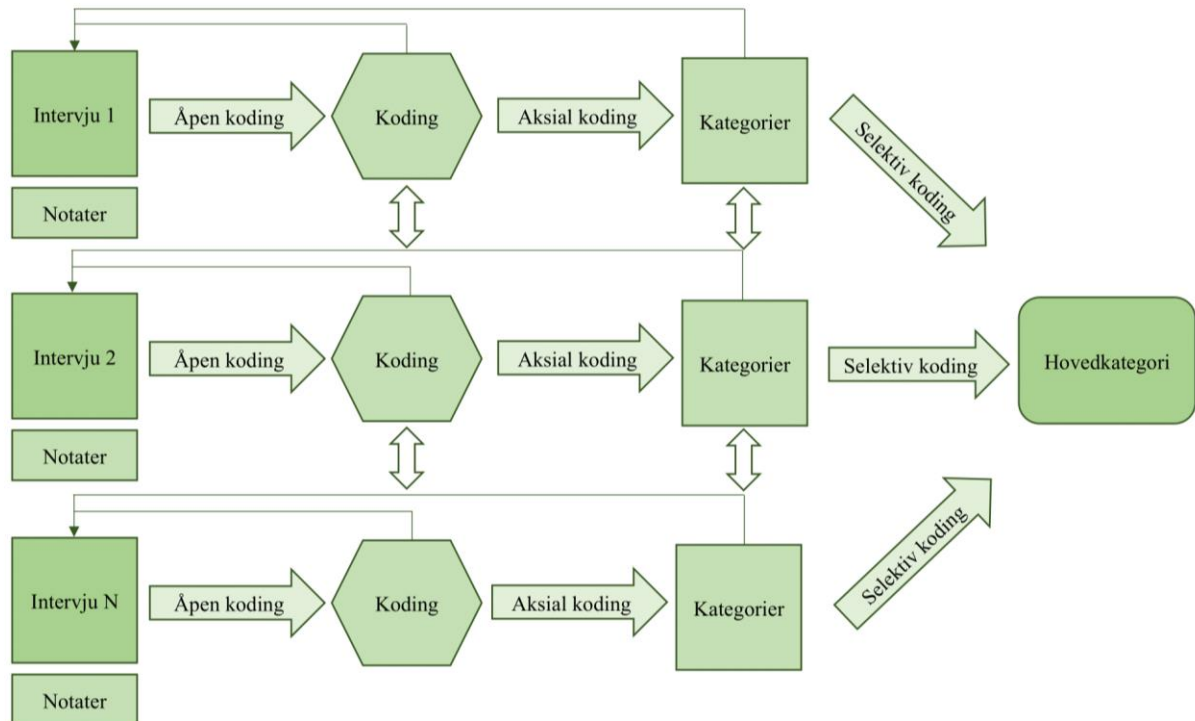
Første steg innebærer å samle, organisere og forberede all data for analyse. Det ble utført ved å transkribere opptakene og renskrive notatene. Som anbefalt ble det notert fortløpende under intervjuet for å oppsummere førsteinntrykk av intervjuet (Corbin og Strauss, 2008). I tillegg ble tidspunkt for hvert spørsmål notert for å enklere finne frem til spørsmålene i etterkant. For å forenkle arbeidet ble det valgt å se bort ifra ufullstendige setninger, pauser, hosting og gjentakende ord. Dette ble gjort for å lette arbeidet i ettertid, ved at transkriberingen ble mest mulig lettleselig og anvendbar i det videre arbeidet.

Andre steg går ut på å danne et helhetlig inntrykk av dataene. De ferdigtranskriberte intervjuene, som var blitt godkjent av intervjuobjektet, ble lest gjennom og studert. Samtidig ble det notert eller markert steder som burde fremheves til den mer detaljerte analysen (Knotten, 2018).

I tredje, fjerde, femte og sjette steg starter den faktiske analysen, og dataen skal kodes og tolkes. For å sikre reliabilitet ble det valgt å benytte konstant komparativ metode (eng: Constant Comparative Method, CCM) til dette (Corbin og Strauss, 2008). CCM har til hensikt å sammenligne hendelser for å klassifisere data. Hver hendelse vil bli sammenlignet med andre hendelser for å sammenligne likheter og forskjeller. Blir en hendelse belyst i flere tilfeller, vil det gi en høyere pålitelighet enn dersom den kun kommer frem i ett tilfelle. For å klassifisere dataen fra intervjuene er det derfor benyttet tre metoder, som også viser til 3. 4. og 5. steg i Creswell sitt rammeverk (Corbin og Strauss, 2008).

1. Åpen koding: studere teksten, enten linje for linje eller avsnitt for avsnitt, for å forstå det mest vesentlige som blir sagt.
2. Aksial koding: sammenligne de åpne kodene og knytte dem sammen i kategorier.
3. Selektiv koding: forsøke å finne hovedtemaet for forskningen.

Stegene i denne prosessen er illustrert i Figur 4. Prosessen er til dels iterativ, da det bør gås tilbake for å kontrollere at den innsamlede dataen støtter oppunder kodene og kategoriene som har blitt identifisert. Etter denne analysen er det mulig å se hvilke data som passer sammen og hvordan det kan fremstilles i resultat.



Figur 4: Illustrasjon av konstant komparativ metode

Den åpne kodingen ble utført ved å ta utgangspunkt i de tre forskningsspørsmålene. Intervjuguiden var fra tidligere av lagt opp i henhold til de tre forskningsspørsmålene, for å lette dette arbeidet. Slik ble setninger og avsnitt som fremstod mest relevant for å besvare hvert forskningsspørsmål belyst.

Deretter ble aksial koding utført ved å plassere like setninger og avsnitt med likt innhold i kategorier. Her ble teksten bare samlet ved å klippe og lime til de ulike kategoriene, uten å gjøre noen endringer med selve teksten.

Til slutt ble det utført selektiv koding på sorterte dataene fra den aksiale kodingen. Her ble hovedessensen i hver kategori trukket ut og bearbeidet. Denne prosessen førte til utviklingen av hovedkategoriene for hvert forskningsspørsmål. Disse hovedkategoriene danner grunnlaget for videre diskusjon, og for å kunne besvare oppgavens formål. Med dette er også det sjette steget i Cornwell sitt rammeverk utført.

2.3.3 Evaluering av utførelse

Det var først og fremst utfordrende å bestemme struktur i intervjuguiden. I utgangspunktet var intervjuguiden delt opp etter de tre forskningsspørsmålene, men det gjorde at intervjuobjektet antageligvis kom til å repetere seg selv med jevne mellomrom, ettersom noen kategorier gikk igjen. Dermed ble intervjuguiden heller lagt opp etter kategorier, med tre hovedspørsmål i hver kategori som viste til forskningsspørsmålene.

I ettertid ble det synlig at det var utfordrende å kode selektivt etter disse kategoriene basert på data fra intervjuene. I etterpåklokskap kunne disse kategoriene vært mer gjennomarbeidet, men det er tross alt ikke enkelt å forutse hva intervjuobjektene kommer til å vektlegge i deres svar. Det har tilsynelatende ikke hatt noe å si for kvaliteten av intervjudataene, men det hadde potensielt forenklet arbeidet med analysen.

Videre var intervjuene planlagt å utføres som fysiske møter, men med hensyn til Covid-19 ble de utført digitalt over Microsoft Teams. Fysisk tilstedeværelse hadde bidratt til å enklere kunne lese ansiktsuttrykk og kroppsspråk. Etter gjennomførte intervjuer synes det likevel å ha fungert svært bra å ha virtuelle intervjuer. Det anses også positivt at selve utspørringen i intervjuene ble fordelt mellom forfatterne, slik at én kunne konsentrere seg om svarene fra intervjuobjektet og komme med oppfølgingsspørsmål, mens den andre noterte flittig og dermed lettet transkriberingsarbeidet.

Intervjuobjektene var spredt i forhold til bedrift, arbeidsstilling og alder, og det har bidratt til å styrke objektivitet ved å vise funn fra flere perspektiv. Samtlige hadde arbeidet med de aktuelle programvarene i løpet av de siste årene, noe som bidro positivt med hensyn til fersk informasjon. Ideelt sett burde personer som hadde erfaring med andre programvarer enn ALICE og Holte også blitt intervjuet, slik at forskningsspørsmålene kunne blitt besvart fra enda flere perspektiv. Likevel har de aller fleste i Norge som innehar erfaring med programvare som bruker kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging blitt intervjuet, noe som sees på som en stor styrke.

Alt i alt synes forfatterne de har lykket godt med gjennomførte intervjuer, og nevnte svakheter har ikke gått stort utover kvaliteten.

2.4 Uformelle intervju

I et uformelt intervju, også kalt ustrukturert intervju, er kun tema eller stikkord bestemt på forhånd, og intervjuet blir mer som en samtale (Forskningsrådet, 2020). Intervjuobjektet forteller fritt om sine tanker eller erfaringer angående det forhåndsbestemte temaet. Dette ble utført i oppgaven for å innhente informasjon om relevante programvarer, med hensikt om å undersøke dagens muligheter og marked.

2.4.1 Fremgangsmåte

I forkant av de uformelle intervjuene, ble det forsøkt å kartlegge flest mulig programvarer som kunne brukes til å besvare det første forskningsspørsmålet. Følgende kriterier ble satt for å kartlegge programvarer:

- Programvare som kan brukes til fremdriftsplanlegging av byggeprosjekter.
- Må bruke en form for kunstig intelligens.

Før oppstart av oppgaven ble forfatterne gjort oppmerksom på at minst én slik type programvare var testet ut i den norske byggebransje. Under innledende samtaler med ulike bedrifter og fagpersoner ble det også tidlig funnet en norsk programvareleverandør som kunne tilby en

programvare som passet kriteriene. Videre ble det gjennomført et søk hvor i hovedsak de samme søkeordene som i litteraturstudiet ble benyttet. Dette ble gjort ved hjelp av søkemotoren «Google» for å enklere kunne finne frem til kommersielle nettsider. Søket resulterte i at ytterligere fire programvarer ble identifisert.

Når de totalt seks programvarene var kartlagt, ble samtlige kontaktet for å innhente detaljert informasjon gjennom uformelle intervju. Kommunikasjonen varierte mellom videomøter, telefonsamtaler og mailkorrespondanse. I tillegg er noe informasjon til oppgaven også hentet fra hjemmesidene deres eller andre relevante kilder. All kommunikasjon ble gjennomført uformelt, men for å holde en rød tråd og en viss struktur ble det forsøkt å stille de samme åpne spørsmålene til alle leverandørene. Disse spørsmålene tok utgangspunkt i de samme kategoriene som ble brukt i intervjuguiden for de semistrukturerte intervjuene.

2.4.2 Analyse av data

Det ble tatt lydopptak av all muntlig kommunikasjon, i tillegg til at det ble notert underveis. Det gjorde det enkelt å kunne gå tilbake senere, og forsikre at det ikke var oppstått misforståelser rundt det som var blitt sagt. Dette var ekstra viktig ettersom fem av seks programvareleverandører var internasjonale, og derav foregikk kommunikasjonen på engelsk. Videomøter og telefonsamtaler måtte også tilpasses leverandørens tidssone og arbeidstid. I etterkant ble informasjonen samlet og fordelt i kategorier. Inndelingen synliggjorde hvilke programvarer eller kategorier som trengte påfyll av informasjon, for å danne et likt grunnlag for sammenligning med hverandre. Dette ble som regel gjort ved oppfølgende mailkorrespondanse med programvareleverandørene.

2.4.3 Evaluering av utførelse

En slik uformell prosess har den styrke at det kan dukke opp informasjon som ellers ikke ville sett dagens lys dersom det hadde blitt stilt spesifikke spørsmål som ledet hele samtalen. Derimot har det også den svakhet at informantene kan snakke så fritt, at samtalen kan lede bort i fra tematikken. Det kan føre til at relevant informasjon går glipp av. Det vil heller ikke gå særlig i dybden ved slike intervju. Varigheten på disse intervjuene var også mye kortere enn ved de semistrukturerte intervjuene.

Det var en fordel at de fleste tok seg tid til å demonstrere programvaren deres på delt skjerm i oppstart av oppgaven. Dette gjorde at det ble gitt bedre innsikt i hvordan de ulike programmene fungerer. Covid-19 gjorde det imidlertid utfordrende å opprettholde kontakten med programvareleverandørene, ettersom flere var lokalisert i utsatte områder.

Alt i alt har de uformelle intervjuene vært supplerende til de andre forskningsmetodene, for å kartlegge marked og muligheter. Det nevnte svakheter anses dermed ikke kritiske for oppgavens funn.

2.5 Casestudie

Gjennomføring av casestudie utgjør en viktig del av forskningstygden i oppgaven. Casestudier brukes gjerne til å beskrive en enhet for å trekke deskriptive, beskrivende slutninger, eller for å gi innsikt i hvorvidt et fenomen fører til noe annet, altså kausale slutninger (Dahlum, 2018). Forskningsmetoden har den styrken at det er mulig å gå i dybden, noe som kan resultere i detaljerte beskrivelser av en spesifikk enhet eller prosess (Hansen, 2019). Resultatene vil i utgangspunktet ha gode forutsetninger for å være troverdige, da det er førstehåndsdata som innhentes.

Casestudier har derimot den svakhet ved at det kan være utfordrende for signifikansen å utlede generelle betraktninger basert på én enhet eller prosess (Dahlum, 2018). Metoden kan bidra med svært interessante resultater, men det kan samtidig være problematisk å måle generaliserbarhet. Valg av analyseenhet vil derfor være en kritisk suksessfaktor, og i dette tilfellet vil resultatene kunne variere etter hvilket prosjekt og dets karakteristika som velges.

I denne oppgaven benyttes casestudie for å danne et grunnlag for å kunne trekke inn subjektiv erfaring for bruk av programvaren, som deretter brukes til å drøfte objektive resultat fra litteraturstudie og intervju. Resultatene fra en casestudie kan være både kvantitative i form av målinger og kvalitative i form av analysing av hendelsesforløp. I denne oppgaven har resultatene vært i form av kvalitativ analysing.

2.5.1 Fremgangsmåte

Valg av programvare og byggeprosjekt

Formålet med caseoppgaven var å kunne sammenligne fremdriftsplaner laget i et program som benyttet kunstig intelligens, med både planer laget på den tradisjonelle måten og den faktiske fremdriften i et reelt prosjekt. Det ble valgt å gjennomføre caseoppgaven med ALICE som programvare, i samarbeid med Veidekke som også har utført noen enkle tester av programvaren. Studien i denne oppgaven tok utgangspunkt i boligprosjektet NærByen som er et av Veidekke sine prosjekter i Trondheim. Hele prosessen ble understøttet av én nøkkelperson på prosjektet.

Etttersom det er ALICE norske entreprenører har erfaring med, var det naturlig å teste denne programvaren i caseoppgaven. Dette til tross for at flere andre programvareleverandørene som ble kontaktet også tilbydde testing av sin programvare. Begge forfatterne fikk tildelt hver sin bruker og tilgang til programvaren ALICE gratis, mot at det ikke ble foretatt opplæring eller gitt særlig tilgang til support underveis.

Valg av byggeprosjekt var utfordrende til å begynne med. Fra tidligere av hadde studentene fått inntrykk av at det burde være et større prosjekt for at det skulle være verdt å benytte en slik type programvare. Likevel burde ikke prosjektet være for stort, ettersom det er tidkrevende å sette seg inn i et stort prosjekt, og samtidig få ut håndterlige resultat fra analysen. Ved valg av prosjekt ble det derfor lagt fokus på at prosjektet skulle være et boligprosjekt, som ville gi en mindre komplisert bygningsinformasjonsmodell ved at bygget ville ha repeterende utforming oppover i etasjene.

Prosjektet måtte også ha en oppdatert bygningsinformasjonsmodell som det var mulig å bruke som input i programvaren. Fremdriftsplanen som var brukt for prosjektet og som var utarbeidet på den tradisjonelle måten måtte være tilgjengelig, samt noe informasjon om hvordan fremdriften faktisk hadde foregått. Videre ville det være en klar fordel dersom prosjektet var nesten eller nylig ferdig. Dette for at prosjektteamet skulle ha detaljene rundt prosjektet ferskt i minne, og det dermed skulle være gode forutsetninger for å gjennomføre sammenligning og analyse.

NærByen i Trondheim ble valgt etter anbefalinger fra biveileder Vegard Knotten fra Veidekke. Dette byggeprosjektet deltok fra før av i en innovativ studie kalt «Quality and Learning in Construction Production» (QLCP), og personene på prosjektet opplevdes derfor som fremoverlente og engasjerte til å bidra i denne oppgaven (Veidekke AS m.fl, 2019). Prosjektet tilfredsstilte de ulike kriteriene som var satt, og hadde planlagt overlevering rundt mai 2020 som gjorde at det var i en ideell fase.

Gjennomføring av testing i programvare

Under gjennomføring av casestudien ble det tatt utgangspunkt i rammeverket for datainnsamling omtalt i 2.1.3. Det første prinsippet til Yin går ut på å bruke flere kilder eller metoder (Yin, 2014). Ved å bruke flere kilder er det mulig å triangulere funnene, og dermed kunne finne støtte og bekreftelse for funnene i de ulike kildene. Dette ble det lagt fokus på gjennom hele caseoppgaven.

Casestudien ble gjennomført i fire faser:

1. Bli kjent med program og innledende testing
2. Innlegging av data på egenhånd
3. Innlegging av data sammen med representant fra prosjektet
4. Analysering av data

For å gjennomføre studien måtte forfatterne først innhente en forståelse av hvordan programvaren fungerer. Det ble gjort ved å lese artikler og se på videoer publisert av programvaren i eget supportsystem. I tillegg ble det foretatt et møte med to personer i Veidekke som allerede hadde testet programvaren, der skjermen ble delt for å vise hvordan programvaren fungerer. Dermed ble bruk av programvaren forklart fra flere kilder.

Etter det ble gitt tilgang til programvaren ble det gjennomført noen innledende tester. Deretter ble selve arbeidet med casestudien startet. Det ble gitt tilgang til en bygningsinformasjonsmodell for prosjektet NærByen. Modellen måtte gå gjennom en egen prosess for klargjøring, og ble deretter lastet opp til ALICE. Etter opplasting av bygningsinformasjonsmodell i ALICE kunne arbeidet starte med å legge inn og organisere nødvendig informasjon. Detaljert forklaring av gjennomføring av casestudien er nærmere beskrevet i delkapittel 5.1.

I programvaren er det blant annet nødvendig å lage oppskrifter for ulike bygningselementer, og legge inn ressurser som eksempelvis tilgjengelig arbeidskraft, materialer og utstyr på byggeplassen. Det ble avtalt at viktig informasjon om prosjektet skulle legges inn sammen med en

representant fra prosjektet, for å være sikker på at dataene ble mest mulig riktig og samtidig ha best mulig forutsetninger for sammenligning mot det faktiske prosjektet. I forkant av dette ble det forsøkt å gjøre mest mulig forberedelser på egenhånd.

Forberedelsene ble i stor grad gjort ved å ta utgangspunkt i informasjon som Veidekke hadde brukt i forbindelse med egen testing i ALICE. I tillegg ble det foretatt samtaler med ulike leverandører i byggebransjen for å innhente informasjon om diverse varigheter og kostnader. Videre ble det avholdt flere møter med en driftsleder på prosjektet som hadde god innsikt i hvordan arbeidet hadde foregått. De fleste møtene gikk ut på å lage korrekte oppskrifter for aktivitetsrekkefølger, og få lagt inn riktige ressurser.

I tillegg ble det gitt tilgang til dokumentasjon tilhørende NærByen om blant annet varigheter, enhetstider og kostnader som ble hentet fra kalkylen til prosjektet. Innlegging av informasjon i ALICE ble altså gjort ved hjelp av flere kilder i samsvar med Yins første prinsipp for datainnsamling (Yin, 2014). Dette både ved hjelp av informasjon fra tidligere testing i Veidekke, samtaler med leverandører, møter med nøkkelperson fra prosjektet, og dokumentasjon fra byggeplassen.

Etter at all informasjon var lagt inn i ALICE ble det generert fremdriftsplaner i programmet. Det ble gjort justeringer og rettet opp i feil frem til programmet ga et tilfredsstillende resultat. En av de genererte fremdriftsplanene ble videre sammenlignet mot tradisjonelt planlagt plan og faktisk fremdrift for prosjektet. Dette er videre omtalt i analysedelen i 2.5.2.

Ved gjennomføring av caseoppgaven er all innhentet informasjon dokumentert. Dette for å sikre at studien er gjennomiktig og etterprøvbart. Alle valg er dokumentert i kapittel 5, og i tillegg er detaljert informasjon om ressurser, oppskrifter og formler dokumentert i egne vedlegg. Dette sikrer også pålitelighet til forskningen. En tilsvarende studie burde da kunne gjenskape omtrent samme resultat, i samsvar med det tredje prinsippet til Yin (Yin, 2014).

2.5.2 Analyse av data

Analysen i casestudiet har vært kvalitativ, og har blitt gjennomført med fokus på å finne sammenhenger, mønstre, fellestrekk eller forskjeller (Larsen, 2007). Dette gikk ut på å velge ut en fremdriftsplan fra programvaren for videre sammenlikning mot tradisjonelt planlagt plan og faktisk fremdrift. Fremdriftsplanen laget i ALICE ble først analysert selvstendig for å sjekke at den var realistisk og praktisk gjennomførbar. Deretter ble den sammenliknet mot fremdriftsplanen som var laget på tradisjonell måte for prosjektet. Det ble også sammenlignet mot teoretisk kostnad av egenproduksjon, som ble hentet fra kalkylen.

Det ble gitt tilgang til dokumentasjon i form av hovedplanen til NærByen. Ettersom hovedplanen for NærByen var i MS Project ble det også valgt å eksportere fremdriftsplanen i ALICE til MS Project. Videre ble planen i ALICE kategorisert på samme måte som hovedplanen til NærByen, for å enklere kunne sammenlikne de to planene. Noe av informasjonen ble også samlet i en egen tabell, for å kunne sammenlikne varigheter på etasjenivå.

For å sammenligne planen i ALICE mot den faktiske fremdriften ble det gitt tilgang til dokumentasjon fra byggeplass i form av bilder fra byggeprosessen gjennom hele den aktuelle perioden. Dette ble satt i system i blant annet en tabell for å enklere kunne sammenligne mot planen i ALICE. I tillegg ble planen analysert sammen med en driftsleder fra NærByen. Analysen gikk ut på å studere fremdriftsplanene som kom fra ALICE, og la driftslederen komme med innspill. På denne måten fikk analysen et objektivt syn, ved at en utenforstående for oppgaven fikk bidra med sine kommentarer og innspill.

Fremdriftsplanen i ALICE ble altså sammenlignet med både planlagt plan og faktisk fremdrift ved hjelp av flere metoder og kilder. Til slutt ble det trukket inn subjektive vurderinger av fordeler og ulemper som opplevdes ved gjennomføring av caseoppgaven, i tillegg til forutsetninger for bruk i fremtiden.

2.5.3 Evaluering av utførelse

Casestudien ble gjennomført noe senere enn planlagt. Forfatterne var avhengig av tilgang til en spesifikk programvare, noe som ble avtalt med programvareleverandøren ALICE tidlig i februar. Ettersom programvareleverandøren hadde sitt hovedsete i USA, ble det i en periode svært utfordrende å få kontakt. Derfor ble det ikke gitt full tilgang til programvaren før i starten av mai, noe som forsinket prosessen. Den sene gjennomføringen kan ha gjort at det ikke ble tilstrekkelig med tid til modning med tanke på resultatene. Likevel sees det på som svært positivt at caseoppgaven faktisk ble gjennomført i tide, og utfordringene på veien har ikke hatt store konsekvenser for utfallet av oppgaven.

For å benytte seg av programvaren er det i utgangspunktet en del av betalingsavtalen at det fås opplæring sammen med representanter fra ALICE. Ettersom det i forbindelse med denne masteroppgaven ble gitt gratis tilgang til programvaren, ble det heller ikke foretatt noe opplæring eller gitt mulighet for tilgang til support. Derfor ble bruk av programvaren gjennomført basert på instruksjonsvideoer og en digital kunnskapsbase. Til tross for dette gikk selve testingen bra, med kun noen få teknologiske utfordringer underveis. Det må likevel tas høyde for at det kanskje finnes alternative måter å løse ting på i programvaren, som potensielt kunne ført til et annet resultat. Det ansees likevel som lite sannsynlig at dette har svekket resultatet i oppgaven i stor grad.

Alt i alt er forfatterne fornøyd med utfallet av casestudien, ved at det har styrket forskningstyngden i oppgaven.

2.6 Artikkel til «bygg.no»

Omtrent halvveis i arbeidet med oppgaven kom forfatterne i kontakt med Lars Christian Christensen som arbeider både for multiBIM og NTNU. Han syntes tematikken for masteroppgaven var så aktuell og spennende, at han etterspurte en artikkel som skulle publiseres på nettsiden «bygg.no». Dette var ønskelig for å gjøre den norske byggebransje klar over hvilke muligheter som er på vei inn i markedet.

For å utarbeide artikkelen ble det gjennomført et videomøte med Christensen, som stilte spørsmål han mente ville være interessant for byggebransjen å få svar på. Spørsmålene omhandlet blant annet hvordan bransjen kunne dra nytte av tematikken og hva som var tilgjengelig på markedet i dag. Videre ble forfatterne tipset om å inkludere en kort matrise med informasjon, i tillegg til illustrerende bilder av hver programvare. Til slutt sendte studentene over et utkast til Christensen, som deretter gjorde noen redaksjonelle endringer, før denne ble sendt til sjefsredaktør i «bygg.no».

Tanken bak artikkelen var å presentere arbeid som var utført i masteroppgaven, og forklare hvilke programvarer som var kartlagt og hvilke andre funn som var observert på det tidspunkt artikkelen ble skrevet. Avslutningsvis skulle det komme en forespørsel om å ta kontakt dersom noen hadde informasjon som kunne være nyttig for oppgaven, og også en oppfordring til å ta kontakt dersom noen ønsket mer informasjon. Dette kunne bidratt til å innhente viktige erfaringer som ikke var publisert eller kjent i den norske byggebransjen, ettersom det på dette tidspunkt var blitt observert at bruk av kunstig intelligens under fremdriftsplanlegging var lite utbredt.

Grunnet Covid-19 ble det imidlertid ikke mulighet til å sende artikkelen til redaktør før mot slutten av oppgaven. Dette gjorde at eventuelle innspill fra lesere ville komme for sent til at det var tid til å inkludere det i oppgaven. Arbeidet med artikkelen har likevel ikke vært forgjeves, da informasjonen som ble brukt til å lage matrisen også var svært nyttig i forbindelse med masteroppgaven. Artikkelen ble til slutt publisert som et leserinnlegg på nettsiden «bygg.no» på denne [lenken](#), og kan sees i sin helhet i Vedlegg C.1. Den tilhørende matrisen finnes i Vedlegg C.2.

2.7 Vitenskapelig artikkel til IGLC 2021

Det ble skrevet et utkast til en vitenskapelig artikkel mot slutten av masteroppgaven. Ettersom forfatterne ikke skrev prosjektoppgave, ble det valgt å ikke fokusere på utarbeidelse av artikkel i starten av semesteret. Dette fordi det opplevdes at det var innhentet for lite informasjon og resultater innen fristen for å sende inn artikkel til konferansen IGLC 2020 gikk ut. Det ble derfor bestemt å heller prioritere masteroppgaven, og deretter levere inn en artikkel til konferansen i 2021.

I løpet av semesteret oppfordret likevel veileder om å legge ved et utkast til artikkelen, slik at arbeidet som ble gjennomført i forbindelse med denne kunne bli vurdert sammen med oppgaven. I det dette ble kjent var det fortsatt uvisshet tilknyttet resultatene fra casestudien, som var blitt forsinket. Arbeidet med artikkelen ble derfor lagt på is, før det helt mot slutten åpnet seg en mulighet for å få utarbeidet et utkast likevel. Planen er at dette utkastet skal bearbeides videre, i håp om at artikkelen blir godkjent til konferansen IGLC 2021 i Cuzco, Peru.

Artikkelen har tatt utgangspunkt i masteroppgaven. Ettersom konferanseartikkelen har en sidebegrensning på tolv sider, har kun det viktigste blitt trukket ut. Derfor er det begrenset mengde med resultat og diskusjon i forhold til hva masteroppgaven inneholder. Det er likevel viktig å presisere at dette kun er et utkast, og at det på ingen måte representer en fullstendig artikkel. Den er likevel lagt ved for å vise at arbeidet med å utarbeide en vitenskapelig artikkel har startet. Utkastet til artikkelen følger som Vedlegg D.1 i oppgaven.

2.8 Arbeidsmetode

2.8.1 Arbeid med oppgaven

Studentene har bidratt likeverdig i utarbeidelsen av masteroppgaven. I og med at begge tidligere har utarbeidet en bacheloroppgave sammen, var det allerede et godt utgangspunkt for samarbeid i denne oppgaven. Tabell 5 illustrerer en grov tidslinje over når de ulike forskningsmetodene har vært benyttet. Ukenummeret i tabellen viser til brukte uker og ikke til faktisk uketall.

Tabell 5: Tidslinje over arbeidet med oppgaven.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Januar			Februar				Mars				April				Mai			Juni		
Litteraturstudie			Forberede intervju Uformelle intervju				Litteraturstudie Intervju				Bearbeide resultat Uformelle intervju				Drøfte resultat Casestudie			Ferdigstille oppgaven		

De første ukene lå fokuset på litteraturstudie og kommunikasjon med relevante personer i byggebransjen for å få mer kunnskap tilknyttet tematikken. Forfatterne fikk i starten sitte side ved side på kontor plass på NTNU, og derav har kunnskapservervelse og informasjon blitt delt med hverandre fortløpende. Etter hvert ble forskningsspørsmål utarbeidet, og arbeid med forberedelse til intervjuer startet.

Begge studentene har forberedt og deltatt på alle intervjuene, samt alle andre møter og samtaler. Før påske ble alt arbeid gjort i felleskap, men grunnet omstendighetene med Covid-19 ble studentene sittende i hver sin by. Intervjuene ble derfor avholdt digitalt. Deretter ble resultatene fra intervjuene bearbeidet. Gjennomføring av casestudien foregikk også digitalt. Ettersom programvaren er nettbasert og kontinuerlig synkroniserer arbeidet, gikk det fint å sitte fra hverandre. Under gjennomføringen ble det også avholdt en rekke digitale møter med en representant fra byggeprosjektet i Trondheim.

Den siste tiden ble brukt på å drøfte resultatene, og ferdigstille masteroppgaven. Ettersom alt arbeid etter påske foregikk digitalt har forfatterne vært nødt til å ha en mer tydelig fordeling av oppgavene. Kommunikasjon har hele tiden vært god, og har vært på et daglig nivå. Den siste uken siste uken satt forfatterne sammen, slik at oppgaven kunne ferdigstilles i felleskap. Dette ble gjort for å gå gjennom oppgaven sammen i sin helhet, og sørge for at kvaliteten på oppgaven oppnådde begges standard.

2.8.2 Samarbeid med andre aktører

Gjennom oppgaven har det blitt samarbeidet med ulike bedrifter og aktører i byggebransjen. Biveileder for oppgaven har vært Vegard Knotten fra Veidekke Trondheim, og det har derfor naturlig blitt et tettere samarbeid med Veidekke enn andre aktører. En annen grunn til dette er også at Veidekke holdt på å gjennomføre egen testing av programvaren ALICE ved oppgavens start, og det derfor var gode forutsetninger for samarbeid. I tillegg stilte Veidekke med et egnet prosjekt til casestudien.

Utover dette har de fleste av de største entreprenørene i Norge blitt kontaktet for å kartlegge erfaringer med programvare, i tillegg til flere andre sentrale personer i bransjen. Samtlige aktører som har blitt kontaktet har vært positive og interessert i å høre mer, og flere har ønsket å bidra. Alle som hadde konkret erfaring med kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging har stilt med representanter til intervju. I tillegg har oppgaven hatt et samarbeid med ulike programvareleverandører, og spesielt ALICE Technologies.

3 Teoretisk rammeverk

Dette kapitlet presenterer relevante funn fra litteratursøket, som anses nødvendig for å skape bakgrunn og kontekst til å senere kunne drøfte resultatene. Teorien er delt inn i delkapitler, som starter generelt og deretter spisser seg ned mot mer spesifikk kunnskap. Etter hvert kapittel presenteres en subjektiv refleksjon som kort oppsummerer teorien for leser. Delkapitlene består av følgende:

3.1 gir innsikt i generelle begreper tilknyttet byggeprosjekt og fremdriftsplanlegging. Dette gjøres for å skape et grunnlag for å forstå bakgrunnen for hvorfor det er viktig med fremdriftsplanlegging av byggeprosjekter.

3.2 forklarer hvordan dagens praksis for arbeidsprosess tilknyttet fremdriftsplanlegging ser ut. Dette inkluderer ulike metoder, planhierarki, programvarer og visualisering av fremdriftsplaner. Dette er nødvendig for å senere kunne sammenligne den tradisjonelle måten mot fremdriftsplanlegging ved bruk av kunstig intelligens.

3.3 omhandler hva bygningsinformasjonsmodell (BIM) er. Dette presenteres ettersom BIM ofte kreves for å benytte programvarer som bruker kunstig intelligens. I tillegg blir filformatet IFC forklart.

3.4 redegjør kort for hva kunstig intelligens er. Dette er viktig for å forstå hva begrepet innebærer når det omtales i forbindelse med programvare som benytter det.

3.1 Generelt om byggeprosjekt og fremdriftsplanlegging

3.1.1 Byggeprosjekt

Et prosjekt kan i henhold til The Project Management Institute defineres som «*et midlertidig forsøk som skal resultere i et unikt produkt, tjeneste eller resultat*» (PMI, 2008). Enklere sagt kan det også defineres som et planlagt sett med aktiviteter med den hensikt å nå spesifiserte mål innenfor gitt budsjett og tidsfrist (Samset, 2015). Ved unntak av vedlikeholds- og driftsoppgaver, kan stort sett alle aktiviteter tilknyttet BAE sees som prosjekter i bakgrunn av prosjektdefinisjonen. Det er verdt å legge merke til at et byggeprosjekt altså er midlertidig og unikt, hvorav førstnevnte betyr at det har en start og en slutt, og derfor et definert omfang og ressurser (PMI, 2008). Selv om et byggeprosjekt medfører repetisjon, vil det alltid være noe som skiller et prosjekt fra et annet.

Unikt betyr at det ikke er en operasjon basert på rutine, men et spesifikt sett av operasjoner som varierer fra gang til gang. Til tross for at to bygninger tilsynelatende ser identiske ut, er de likevel unike i den grad de har ulike prosjektspesifikke forhold de bygges under. Dette kan være grunnforhold, værforhold, arbeidsmarked, interessenter, kunder eller lignende (Mubarak, 2010). I tillegg består byggeprosjekter ofte av prosjektteam som er sammensatt av personer som ikke arbeider sammen normalt, og som ofte er fra forskjellige bedrifter eller organisasjoner på tvers av ulike fagdisipliner (PMI, 2008).

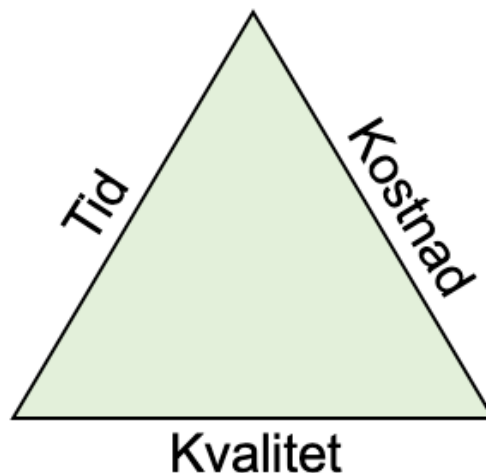
Prosjektproduksjon av byggeprosjekter skiller seg også fra andre prosjekter i andre næringer. Prosjektet er et unikt produkt som skal produseres på en unik plass, med en midlertidig organisasjon, og gjerne for en ny kunde med nye brukere å innfri behov for (Bølviken, 2012). På hvilken måte prosjektproduksjon skiller seg fra andre produksjoner er illustrert i Figur 5. Kombinasjonen av disse faktorene gjør at planlegging av byggeprosjektet vil variere for hver gang.



Figur 5: Illustrasjon over ulike typer produksjon (Bølviken, 2012)

Videre har byggeprosjekter også ulike prosjektmål i form av samfunns mål, effektmål og resultatmål (Samset, 2015). I denne oppgaven er det mest interessant å fokusere på resultatmål. Resultatmål, som også blir omtalt som prosjektmål, beskriver hvilke konkrete mål eller resultater som skal oppnås i løpet av prosjektet, og kan anses som leveranser med angitt kostnads- og tidsmål. Dette kan også være sikkerhet eller produktivitetsmål. Resultatmål kan være både interne for bedrifter i prosjektet, eller eksterne for hele prosjektet. Typisk prosjektmål kan være å holde prosjektkostnadene til et minimum, eller at det er viktigere å holde prosjektvarigheten så kort som mulig (Chen m.fl., 2012).

Helt generelt blir prosjekter målt etter tid, kostnad og kvalitet (Leong m.fl., 2014). Disse tre komponentene kan ofte refereres til som «jernetrekanten» (eng: the iron triangle) som illustrert i Figur 6. Det er strid i litteraturen om disse kan defineres som et prosjekts suksesskriterier, ettersom det finnes mange andre kriterier som bør inkluderes for å avgjøre dette. Uansett kan faktorene i jernetrekanten måle den taktiske ytelsen i prosjektet, som er et uttrykk for om prosjektet har lyktes i å levere prosjektets resultater som avtalt (Samset, 2015).



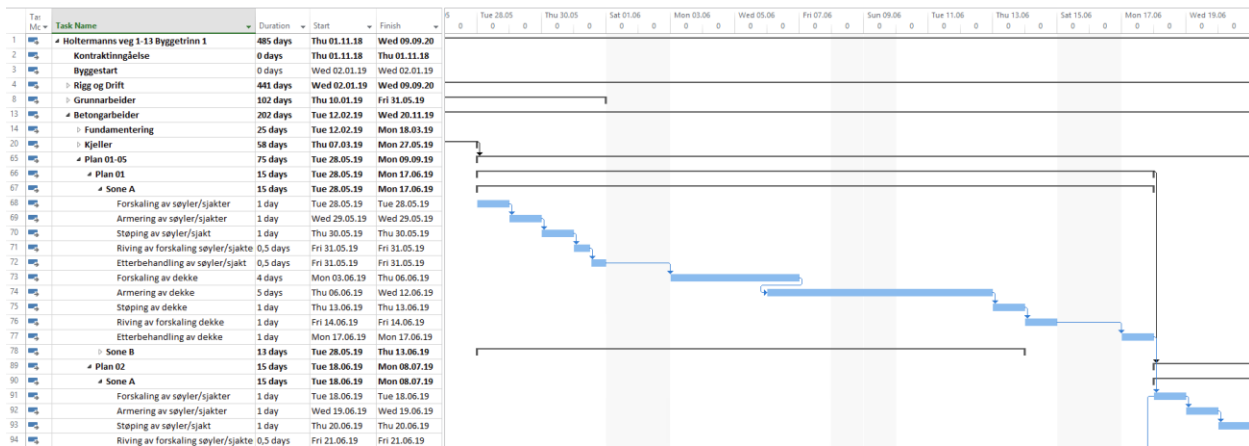
Figur 6: Illustrasjon av jerntrekanten

3.1.2 Fremdriftsplanlegging

Fremdriftsplanlegging i et byggeprosjekt er helt grunnleggende, essensielt og avgjørende for styring og utførelse av prosjekter (Chen m.fl., 2012). Det finnes mange grunner til at det er nødvendig å fremdriftsplanlegge, eksempelvis for å finne ut av dato for ferdigstilling av hele prosjektet, for å kunne kalkulere start eller slutt av en spesifikk aktivitet, koordinere underentreprenører, eller for å forutse kontantstrømmer (Mubarak, 2010). En god plan vil bidra til å utføre prosjektet trygt innenfor tid- og budsjettbegrensninger, uten å gå på bekostning av kvalitet (Chen m.fl., 2012).

En fremdriftsplan er et resultat av prosessen fremdriftsplanlegging, og kan defineres som en tidsplan over oppgaver og aktiviteter som skal utføres i et byggeprosjekt, med angitt varighet, startdato og sluttdato (Sander, 2020a). Fremdriftsplanen viser hvordan oppgavene eller aktivitetene er plassert i forhold til hverandre, og fungerer som et viktig styringsdokument for blant annet prosjekteier og prosjektleder.

Et eksempel på en fremdriftsplan er illustrert i Figur 7. En slik type plan kan brukes til å kontrollere og evaluere prosjektets fremdrift, for å avgjøre om prosjektet ligger foran, i rute eller etter prognose for ferdigstilling. Måling av fremdrift ved hjelp av fremdriftsplanen bidrar til å dokumentere faktisk timeforbruk og avvik, som kan synliggjøre flaskehals og ineffektive prosesser.



Figur 7: Eksempel på en fremdriftsplan i MS Project

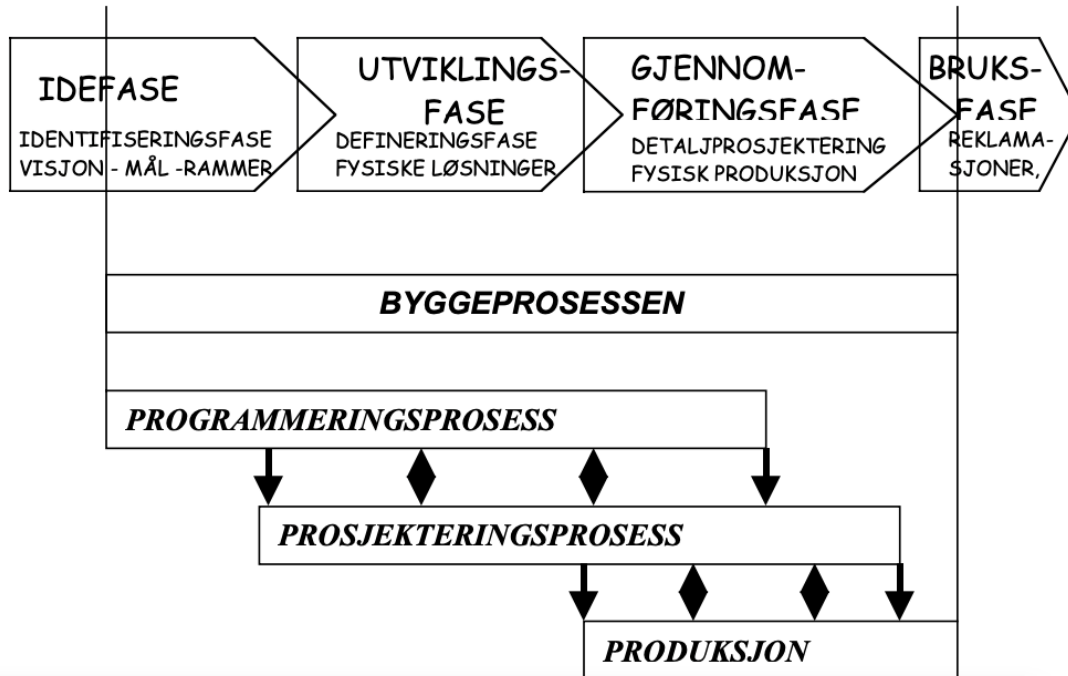
Det er som regel flere aktører involvert i et byggeprosjekt, hvor samtlige trenger en fremdriftsplan for sitt fag eller perspektiv (Mubarak, 2010). Entreprenører trenger fremdriftsplan for blant annet å planlegge sluttdato og varighet på aktiviteter, koordinere egne ansatte og underentreprenører, forutse kostnader, kontrollere arbeidet, og eventuelt bevise forsinkelser. Byggherre på sin side trenger fremdriftsplan for å blant annet skape oversikt over forventet sluttdato for prosjekter, forsikre seg om at de utførende blir ferdige, og kartlegge kostnader.

3.1.3 Totalentreprise

Et byggeprosjekt må være tilknyttet en entrepriseform, som forteller noe om ansvarsfordeling og prosess. I en totalentreprise innebærer det at byggherren kun har én kontrakt med en totalentreprenør, og at denne entreprenøren også står for prosjekteringen (Lædre, 2014). Ved totalentrepriser er det vanlig at entreprenøren blir kontrahert gjennom en anbudsprosess, der tilbudet blir kalkulert på bakgrunn av byggherrens funksjonsbeskrivelser. Det finnes likevel også eksempler på forhandlede totalentrepriser og direkte kontrahering. Dette forekommer som regel hos private byggherrer. Samspillavtaler er en annen utstrakt arbeidsform, som vanligvis innebærer at totalentreprenør, arkitekt og prosjekterende samarbeider om utvikling av et prosjekt i et veldig tidlig stadium.

3.1.4 Prosjektfaser

Et byggeprosjekt består av ulike faser. Det finnes mange ulike rammeverk og faseinndelinger. Eksempler på rammeverk er «Neste Steg» eller Eikeland sin faseinndeling (Bygg21, 2015; Eikeland, 2001). Sistnevnte er vist i Figur 8. Målet for fremdriftsplanleggingen vil variere etter hvilken fase prosjektet er i, og dette er viktig å tenke på med hensyn til hvilken detaljeringsgrad fremdriftsplanen skal ha.



Figur 8: Byggeprosessens faser (Eikeland, 2001)

Videre i oppgaven vil enkelte av fasene forenkles, og kalles anbudsfasen, prosjekteringsfasen og gjennomføringsfasen. I anbudsfasen vil entreprenør komme med et tilbud til byggherre. Tilbudet skal inneholde ferdig konsept og pristilbud. Prosjekteringsfasen beskriver prosessen der grunnlaget for selve oppføringen av bygget utarbeides. Gjennomføringsfasen dreier seg om selve byggingen. Når disse fasene beskrives så grovt som i figuren over, benytter begrepene prosesser med stor grad av overlapping (Eikeland, 2001).

3.1.5 Subjektiv refleksjon

Innsikt i hva et byggeprosjekt faktisk er og hvilke unike rammer og varierende faktorer det må forholde seg til, er grunnleggende for å i det hele tatt forstå kompleksiteten ved fremdriftsplanlegging. Generell informasjon om både produktet fremdriftsplan og prosessen fremdriftsplanlegging er presentert. Dette skaper forståelse for hvilket innhold fremdriftsplan som resultatet av prosessen fremdriftsplanlegging må ha.

Videre ble begrepet totalentreprenør kort forklart, ettersom masteroppgaven har hovedfokus på denne aktøren. Avslutningsvis ble det presentert informasjon om faser for å tydeliggjøre at fremdriftsplanlegging har ulikt behov for detaljering etter hvilken fase prosjektet er i. Det er viktig å legge merke til at faser i et byggeprosjekt er glidende, og dermed overlapper hverandre.

3.2 Dagens praksis for fremdriftsplanlegging

Jones forteller at nøkkelen for å levere byggeprosjekter på tid og innen budsjett, ligger i fremdriftsplanleggingen (Jones, 2019). Når noe uforutsett oppstår, blir aktiviteter i planen forskjøvet og justert for å kompensere for forsinkelser eller arbeid som må bli gjort om på. Utarbeidelsen av fremdriftsplaner krever i dag mange timer med arbeid, og resulterer som regel i kun én fremdriftsplan.

3.2.1 Arbeidsprosess

Tradisjonelt sett har fremdriftsplanlegging vært en kontinuerlig og levende prosess, uten tydelige overganger eller struktur (Levy og Skjærstad, 2017). Uavhengig av størrelse må et prosjekt gjennom en iterativ prosess for å utarbeide en fremdriftsplan som kan følges. Denne prosessen består av følgende punkter (Aljebory og QaisIssam, 2019):

- Valg av konstruksjonsmetoder kan eksempelvis være om betong skal leveres med pumpe eller tobbe. Valg av metoder vil spille en rolle for varighet og kostnader for å ferdigstille aktiviteten.
- Definering av arbeidsoppgaver handler om å bryte ned prosjektet til aktiviteter og delaktiviteter. Work Breakdown Structure (WBS) er en kjent måte å gjøre dette på, som organiserer delaktiviteter ved en hierarkisk nedbryting.
- Sekvensering av oppgaver dreier seg om å finne en rekkefølge som hver aktivitet på byggeplassen skal utføres på. Det er flere faktorer som styrer sekvenseringen, som fysiske begrensninger, innkjøp eller sikkerhet.
- Estimering av ressurser innebærer å blant annet bestemme type, antall arbeidere, materialer og utstyr. I dette stadiet identifiseres nødvendige ressurser for å kunne fullføre prosjektet, og ressurser for hver aktivitet. Dette bør normalt gjøres før varighet for aktiviteter beregnes.
- Estimering av varigheter for aktiviteter kan beregnes hvis mengde arbeid er kjent, og dersom produktiviteten til arbeidskraften er kjent enten ved mengde per tid, eller ved historiske data eller erfaringer fra tidligere prosjekter.
- Identifisering av prosjektforhold og avhengigheter mellom aktivitetene omhandler å finne forhold eller begrensninger som har en betydning for rekkefølgen aktivitetene puttes i.

Proessen med å inkludere disse punktene er iterativ, og det forekommer som regel mange endringer underveis. Når prosessen er gjennomført er fremdriftsplanen forhåpentligvis satt opp slik at den bruker kortest mulig tid, og samtidig har en logisk rekkefølge, samt aktiviteter med korrekte varigheter og tilgjengelige ressurser.

Dagens arbeidsprosess og programvarer er preget av gjennomiktig teknologi, som vil si at det er mennesket som kontrollerer hvordan input blir omformet til output (Schia, 2019). Det er dermed et resultat av menneskelig intelligens. Det resulterer ofte i et komfortabelt nivå av forståelse for mennesket, ved at det skaper tillit til teknologien og planen.

3.2.2 Påvirkende faktorer

Ved fremdriftsplanlegging er det flere faktorer som påvirker de ulike valgene som tas, og det gjør fremdriftsplanlegging til en kompleks oppgave (Oprach m.fl., 2019). Videre presenteres noen typiske faktorer som må tas hensyn til under fremdriftsplanlegging.

- Prosjektspesifikke forhold

Byggeprosjekter har unike prosjektforhold og ulike utfordringer å ta hensyn til under ulike faser av et prosjekt (Abuwarda og Hegazy, 2016). Det kan være spesifikke og lokale forhold på byggeplassen, som eksempelvis grunnforhold, naboer eller værforhold, eller generelle forhold som eksempelvis lovverk eller marked. Entrepriseform, kompleksitet i byggeprosjektet og grad av involvering av rådgivende aktører utgjør også en del av prosjektforholdene (Sun og Meng, 2009). Disse prosjektforholdene bør kartlegges, for å forhindre uforutsette forhold underveis i byggingen som kan resultere i dyre forsinkelser.

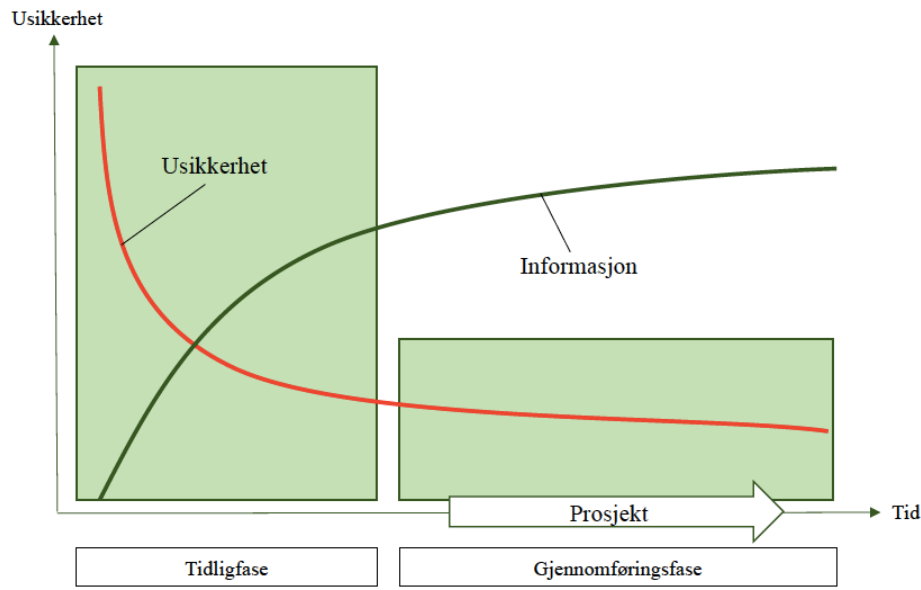
- Prosjektbegrensninger

Prosjektspesifikke forhold resulterer i prosjektbegrensninger, og kan som regel knyttes til tid, kostnad og kvalitet (Sander, 2020b). I tillegg innebærer begrepet begrensninger for ressurser i form av arbeidskraft verktøy og materialer. En prosjektbegrensning kan eksempelvis være milepæler. Dersom prosjektbegrensninger ikke overholdes, kan det bli straff i form av bøter. Etterhvert som byggeprosessen utarter seg, vil enkelte endringer og justeringer av prosjektbegrensninger bli nødvendig, som kan kreve endring av omfang eller bruk av alternative konstruksjonsmetoder (Chassiakos og Sakellaropoulos, 2005).

- Usikkerhet

Byggeprosjekter blir ofte planlagt under usikkerhet (Oprach m.fl., 2019). Usikkerhet kan defineres som differansen mellom mengde informasjon som er nødvendig for å utføre en bestemt oppgave, og mengden informasjon som allerede er kjent eller besluttet av organisasjonen. Manglende informasjon skaper usikkerhet, og stammer ofte fra kompleksitet i aktiviteter under bygging. Denne usikkerheten har også røtter i mangel på informasjon tilknyttet prosjektforhold som er nødvendig å kartlegge.

Usikkerhet er typisk størst i starten av et prosjekt, når ikke all nødvendig informasjon eller prosjektforhold er kjent (Samset, 2015). Dette er illustrert i Figur 9, hvor den røde kurven viser usikkerhet som flater ut etter hvert som informasjon blir innhentet. Selv om usikkerhet systematisk reduseres gjennom fasene, kan det på et hvilket som helst tidspunkt skje noe som endrer premissene og som kan påvirke forutsetningene for videre arbeid (Klakegg og Torp, 2018).



Figur 9: Illustrasjon for graf over usikkerhet mot informasjon

- Risiko

Under fremdriftsplanlegging må det tas høyde for risiko, og dette henger ofte sammen med mengde usikkerhet. Historie viser at byggeprosjekter gradvis blir større og mer sammensatte når det gjelder både fysisk størrelse, kompleksitet og kostnader. Derfor kreves det også tilsvarende større kontroll over risiko (Chen m.fl., 2012). Etersom byggeprosjekter har en unik karakter, vil planlegging kreve mye tid. Det vil ofte være nødvendig med store buffere for å dekke usikkerhet, og for å få ned risiko til et akseptabelt nivå for å kunne gjennomføre prosjektet (Oprach m.fl., 2019).

- Beslutninger

Som tidligere nevnt avtar usikkerhet i takt med at informasjon skaffes når beslutninger blir tatt. Dette kan imidlertid oppleves som en ond sirkel, ettersom prosjektledelsen ofte må ta avgjørelser og beslutninger basert på inkonsekvente valg og upresise data (Maravas og Pantouvakis, 2011). I tillegg er de fleste mennesker utsatt for det som kan kalles «håpsbasert planlegging», som betyr at en person som regel har et positivt og optimistisk tankesett (Branscombe, 2018). Da tas gjerne beslutninger basert på dette uten å ta innover seg verst tenkelige utfall som beslutningsgrunnlag.

- Estimere varighet

Å definere varighet til en aktivitet er en kompleks oppgave (Abuwarda og Hegazy, 2016). Faktorer som eksempelvis lokasjon, størrelse, erfaringer, eller motivasjon til fagarbeideren spiller en viktig rolle. I henhold til unike karakteristika av et byggeprosjekt vil tidsbuffere ofte bli lagt til, og kompleksiteten av å skape en valid fremdriftsplan er høy. Av natur er også mennesket dårlig på å utføre risikobasert sannsynlighetsberegning, spesielt når mange forskjellige sannsynligheter blir kombinert (Branscombe, 2018). Dette gjør at det i mange tilfeller ikke blir beregnet nok tid eller lagt inn nok slakk når varigheter skal estimeres.

3.2.3 Metoder og teknikker

I dag innebærer fremdriftsplanlegging i stor grad manuelle prosesser, og ofte på en ustrukturert måte (Chen m.fl., 2012). I noen prosjekter blir rådgivende aktører involvert tidlig for å bidra med sin kunnskap og erfaring til planen, mens i andre prosjekter lager totalentreprenøren mer eller mindre et helt utkast selv før det innhentes innspill fra andre. Det finnes ulike tilnærminger og metoder å planlegge på, men essensielt for alle metodene er at det må identifiseres arbeidsoppgaver, aktiviteter og forhold mellom disse, samt nødvendige ressurser.

For å skape håndterlige estimater må prosjektet først brytes ned til mindre komponenter, hvor hver komponent blir kalt en aktivitet eller oppgave (Mubarak, 2010). Det finnes ingen omforent enighet eller standard for hvordan prosjektet skal brytes ned, men det bør være et fornuftig antall aktiviteter som enkelt kan måles og kontrolleres uten å være for detaljert. WBS er som nevnt en måte å bryte ned prosjektet i mindre oppgaveorienterte aktiviteter på. Arbeidspakkene kan få estimert en varighet, og bli tildelt til de som skal utføre oppgaven (Levy og Skjærstad, 2017). For å bryte ned ytterligere er det mulig å dele inn mellom aktivitetsbasert eller lokasjonsbasert planlegging. Dette handler om at det avgrenses til fagfelt for aktiviteter, eller lokasjoner som soner eller områder.

Kritisk linje er et sentralt begrep og definerer den serien av aktiviteter som vil kreve det lengste tidsforbruket, også forklart ved at den inneholder den absolutt korteste varigheten prosjektet kan ha (Sander, 2020c). Dette kan også forklares ved at aktiviteter som ikke har slakk er kritiske aktiviteter. Aktiviteter på den kritiske linjen vil fastsette sluttdato, og forsinkelser i en av disse aktivitetene vil direkte påvirke sluttdatoen. Hensikten med å identifisere kritiske aktiviteter er å forutse sårbare aktiviteter som bør prioriteres med eventuelle tiltak, eksempelvis øke bemanning.

I tillegg finnes det anerkjente metoder som estimerer varighet for deler av eller hele prosjekter. To av de mest kjente er Critical Path Method (CPM) eller Program Evaluation and Review Technique (PERT), hvor forskjellen ligger i beregning av aktiviteters varighet ved statistisk sannsynlighetsberegning (Hong, 2017). I tillegg finnes det også andre metodikker og filosofier som Last Planner System, Lean eller taktplanlegging (Halleraker, 2014).

3.2.4 Planhierarki

Fremdriftsplaner har ulik detaljeringsgrad etter hvilken fase de skal brukes i. Et eksempel på et planhierarki kan finnes i anbefalingene til The Chartered Institute of Building (CIOB), som innebærer en inndeling i fem nivåer (Levy og Skjærstad, 2017).

Nivå 1 – det mest overordnede nivået. Viser kun hovedaktiviteter og milepæler, gjerne representert på kun ett ark.

Nivå 2 – viser hovedaktiviteter, ofte delt inn etter områder eller bygningsdeler i prosjektet. Dersom prosjektet er delt inn i flere deler eller planer på grunn av størrelse, skal alle underplanene være synlig på dette nivået.

Nivå 3 – skal vise alle aktiviteter i prosjektet, og inkluderer ofte den kritiske linjen. Må være tilstrekkelig detaljert slik at alle aktiviteter kan tidfestes i prosjektet. For utarbeidelse av disse planene må mange viktige beslutninger være tatt. Planen må kunne omforenes av alle aktører, og aktiviteter som skal utføres av underentreprenører må også være synlige.

Nivå 4 – illustrerer en tidshorisont på noen uker eller måneder for enkelte aktiviteter. Disse planene må være ytterligere detaljert, da det kreves mer detaljert informasjon for å utføre spesielle deler av prosjektet eller arbeidet. Denne planen kan ofte trekkes direkte ut fra nivå 3, men trenger ytterligere detaljering.

Nivå 5 – viser enda mer detaljering enn nivå 4, og bør fortsatt ta utgangspunkt i nivå 3. Alle aktiviteter hos alle fag skal være synlige, og denne planen vil typisk benyttes av formenn og baser i utførelsen av arbeid. Tidshorisonten for denne planen kan gjerne være for arbeidet den kommende uken.

Baldwin og Bordoli presiserer at dette hierarkiet ikke nødvendigvis trenger eller blir brukt i alle prosjekter, og noen av nivåene kan slås sammen (Levy og Skjærstad, 2017). Det viktigste er at planene samsvarer med hverandre, slik at de inneholder samme start- og sluttdato for aktiviteter. Planen på nivå 1 bør brukes for detaljering av plan 2, og så videre. Det er ikke alltid mulig å gjøre, men bør etterstrebes.

3.2.5 Programvarer

For å utarbeide fremdriftsplanene og visualisere planer på en lesbar måte, er det nødvendig bruke en programvare som kan formidle informasjonen. Det er utviklet flere ulike programvarer for fremdriftsplanlegging. En programvare gir ikke ut noe mer enn det den får som input, så dersom det er planlagt med mangelfull eller feil informasjon, blir planens kvalitet deretter. Videre presenteres tre kjente verktøy som brukes i dag.

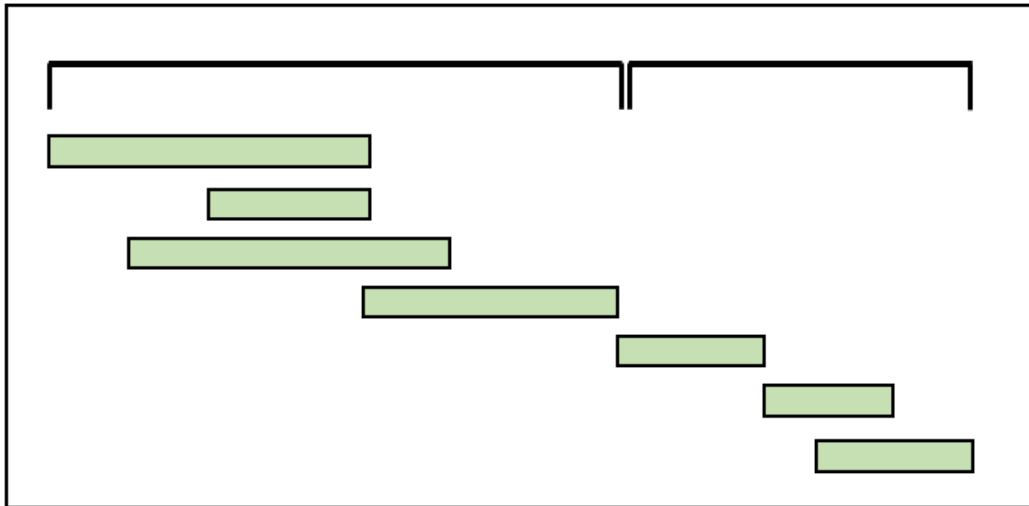
Microsoft Project, ofte kalt MS Project, er en programvare for prosjektstyring. Programvaren er designet for å kunne planlegge og følge opp prosjekter. MS Project benytter en kombinasjon av Gantt-diagram og nettverksdiagram, ved å vise aktiviteter over tid, samt relasjoner og avhengigheter mellom enkelte aktiviteter som manuelt bestemmes (Halleraker, 2014). MS Project er en av de mest brukte programvarene i byggebransjen i dag, ettersom det er svært enkelt å bruke.

Microsoft Office Excel, som regel kun kalt Excel, er en programvare som i utgangspunktet er et regnearkprogram. Programmet benyttes for å beregne, analysere og filtrere data. Visualisering kan gjøres ved hjelp av Gantt-diagrammer. Også denne programvaren er mye brukt i byggebransjen, men på grunn av begrensede funksjoner er den ikke optimal for større prosjekter.

Oracle Primavera P6 er en programvare for prosjektadministrering. Dette inkluderer prosjektstyring, planlegging, risikoanalyse, ressursstyring med mer (Oracle, u.d.). Programvaren er spesielt populær i USA, og presenteres fordi den blir nevnt i senere resultater.

3.2.6 Visualisering

Det finnes ulike måter å fremstille og visualisere ferdige fremdriftsplaner på. Et Gantt-diagram, også kalt «bar chart» på engelsk, er en grafisk fremstilling av prosjektaktiviteter. Aktivitetene blir vist i en tidsskala illustrert som liggende søyler (Mubarak, 2010). Et eksempel er vist i Figur 10 med liggende søyler illustrert i grønt. Gantt-diagrammet har fått bred aksept og popularitet, hovedsakelig grunnet dets simpelhet og enkle forståelse.



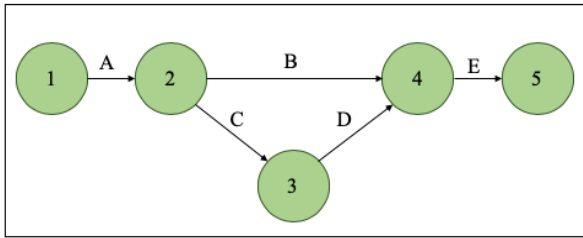
Figur 10: Illustrasjon av Gantt-diagram

Digitale Gantt-diagrammer har muligheter for å inneha mer informasjon om for eksempel ressurser. En svakhet ved diagrammene er at det ikke er like klart å se relasjon mellom ulike aktiviteter og eventuell påvirkning av forsinkelser (Jackson, 2010). Dersom det benyttes Gantt-diagram for en hel hovedplan, kan aktiviteter som har en relasjon komme med flere siders mellomrom selv om de skal utføres parallelt, fordi de tilhører ulike fagområder.

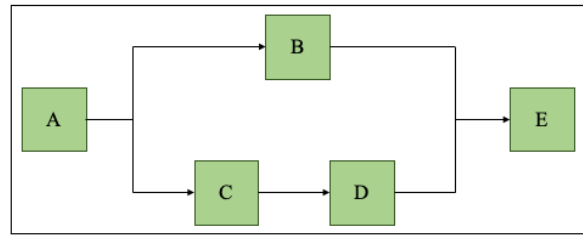
Nettverksdiagram er en annen måte å visualisere fremdriftsplanen på, ved å grafisk presentere logisk og kronologisk fremstilling av aktivitetene i et prosjekt (Mubarak, 2010). Hovedfunksjonen er å få oversikt over relasjonene mellom aktivitetene. Det er i utgangspunktet to ulike typer måter å fremstille nettverksdiagram på:

- AOA – Activity on Arrow
- AON – Activity on Node

Førstnevnte bruker piler for å representere aktiviteter, og noder for å representere start og slutt på aktivitetene. Sistnevnte representerer aktivitetene med noder, og relasjonen mellom dem med piler. De to ulike måtene er illustrert i henholdsvis Figur 11 og Figur 12.



Figur 11: Eksempel på AOA-nettverk



Figur 12: Eksempel på AON-nettverk

4D er også en måte å visualisere fremdriftsplaner på. Selv om 4D-planlegging gjerne omtales som en egen metode, er selve effekten forbedret visualiseringen av fremdriftsplanen. Dette går ut på å koble bygningselementer fra en 3D-modell til sine respektive aktiviteter i fremdriftsplanen (Levy og Skjærstad, 2017). Den fjerde dimensjonen står altså for tid. Slik er det mulig å se hvordan byggverket virtuelt blir bygget, som i en slags film (Hong, 2017). 4D-BIM som det også kalles, blir stadig mer etterspurt i bransjen.

3.2.7 Subjektiv refleksjon

Dagens arbeidsprosess er presentert for å gi leser et grunnlag for å forstå hvordan bruk av kunstig intelligens eventuelt kan påvirke dagens praksis. Arbeidsprosessen er i dag preget av mange ulike og tilsynelatende usystematiske metoder. For å estimere troverdige varigheter av aktiviteter, kreves det mye informasjon. Det kan være utfordrende å få tak i oppdatert informasjon for å få realistiske estimater. Det kan også være vanskelig å holde oversikt over mengden informasjon. Et knippe metodikker og teknikker ble presentert for å gi leser forståelse for at det finnes flere måter å planlegge på.

Flere av referansene i litteraturen forteller at prosessen med å fremdriftsplanlegge i dag som regel resulterer i kun én alternativ fremdriftsplan. Dette stemmer også overens med hva forfatterne har erfart. Videre er programvarer og deres måter å visualisere fremdriftsplaner blitt presentert. God visualisering av fremdriftsplanen er essensielt, da det er mye informasjon som skal presenteres på en håndterbar måte. Dette for å gjøre det mulig å etterfølge og forstå planen for både funksjonærer og fagarbeidere.

3.3 Bygningsinformasjonsmodell (BIM)

3.3.1 Generelt

BIM er et begrep som har flere betydninger, og ordet benyttes ulikt i ulike sammenhenger. De tre mest brukte betydningene er:

- Bygningsinformasjonsmodellering (eng: Building Information Modeling)
- Bygningsinformasjonsmodell (eng: Building Information Model)
- Bygningsinformasjonsledelse (eng: Building Information Management)

Begrepene blir i dagligtale brukt om hverandre, men det er de to førstnevnte som blir hyppigst brukt. Sistnevnte refererer til informasjonsledelsen og styringen av arbeidet, men det er først og fremst modell og modellering som normalt nevnes i sammenheng med BIM.

Bygningsinformasjonsmodellering er en metode for å digitalisere informasjon om et byggeprosjekt, og begrepet viser til prosessen som innebærer å lage og bruke intelligente 3D-modeller og relaterte data. Med systemer for bygningsinformasjonsmodellering vil det være mulig å modellere konstruksjoner bestående av objekter med alle detaljer (BuildingSMART, 2019). Objektene tildeles egenskaper, og har i tillegg relasjoner mellom seg. Eksempler på informasjon som kan være knyttet til objektene er areal og volum, materiale, U-verdi, brannklasse, eller andre fysiske og funksjonelle egenskaper.

En bygningsinformasjonsmodell refererer derimot til produktet av denne prosessen, selve informasjonsmodellen. Modellen er en digital fremstilling av fysiske og funksjonelle egenskaper ved bygget som er laget i en egnet programvare (Hsu m.fl., 2020). Denne modellen er datarik, objektorientert og en parametrisk digital representasjon. Modellen skal omfatte den informasjonen som kreves under hele byggeprosessen, fra planleggingsstadiet, under byggetiden og gjennom hele byggets livslengde (Aljebory og QaisIssam, 2019). Modellen fungerer dermed som en kunnskapsressurs for informasjon om et byggverk, og danner et grunnlag for beslutninger i løpet av byggets livssyklus (Hsu m.fl., 2020). Videre i oppgaven vil BIM referere til begrepet bygningsinformasjonsmodell.

Det finnes i dag flere programvarer og plattformer for å lage og styre bygningsinformasjonsmodeller. De ulike programmene støtter ofte design gjennom ulike faser som gir bedre analyser og kontroll enn tradisjonelle, manuelle prosesser. Eksempler på dette er Autodesk Revit og ArchiCAD som er mye brukt i byggebransjen, og som betegner seg som komplette BIM-verktøy (Autodesk, 2020; Graphisoft, n.d.). Programvarene tilbyr modellering for flere fagområder som arkitekter, landskapsarkitekter, elektrikere, rørleggere og lignende. Dette gjør at det kan oppnås en komplett virtuell modell av byggverket som skal reises på byggeplassen. Det er mulig å tilpasse norske maler og biblioteker til programvarene, og verktøyene brukes til modellbaserte prosesser for å planlegge, designe, konstruere og styre bygninger og infrastruktur.

3.3.2 Industry Foundation Classes (IFC)

IFC er et filformat basert på en åpen standard for å kunne utveksle bygningsinformasjonsmodeller på tvers av ulike programvarer (Autodesk, 2018). Ved å benytte dette filformatet kan aktører i byggenæringen utveksle komplekse 3D-modeller med hverandre, uavhengig av hvilken programvare modellen er bygd opp i. IFC-formatet er basert på ISO standarden 16739 (BuildingSMART, 2014). En IFC blir typisk brukt for å koordinere og sammenstille modeller fra ulike fag med hverandre. Dette gjør det lettere å synliggjøre og kontrollere hvor installasjoner er plassert, og forhindre at bygningselementer kolliderer før de skal monteres på byggeplass.

3.3.3 Subjektiv refleksjon

Bygningsinformasjonsmodeller har mange ulike bruksområder. I denne oppgaven ble begrepet presentert fordi 3D-modellene brukes som direkte input i enkelte programvarer, som blir presentert senere i oppgaven. Ettersom begrepet BIM kan ha flere betydninger, ble det presisert at det videre i oppgaven defineres som bygningsinformasjonsmodell for å unngå forvirring. Det er som regel alltid viktig å fokusere på at bygningsinformasjonsmodellen er en korrekt representasjon av det som skal bygges, men det vil senere forklares hvorfor det er ekstra viktig når den skal brukes til fremdriftsplanlegging. Videre ble filformatet IFC presentert for å forklare hvordan bygningsinformasjonsmodeller kan utveksles på tvers av ulike programvarer.

3.4 Kunstig intelligens (KI)

3.4.1 Definisjon

Temaet kunstig intelligens oppfattes ulikt. Mens det for noen vil innebære kunstige livsformer som kan overgå menneskelig intelligens, vil begrepet for andre kunne utvides til å gjelde nesten alle typer databehandling (Temu Roos og Valtonen, 2020). En av grunnene til den økte omtalen i media i nyere tid, kan delvis skyldes at begrepet nå blir brukt for fenomener som tidligere har hatt andre merkelapper. Alt fra «if-then-setninger» som er kodet til statistiske analyser, kan i dag bli kalt kunstig intelligens.

En av årsakene til at det er delte meninger om hva kunstig intelligens innebærer, er at det per dags dato ikke finnes noen allment akseptert definisjon (Tidemann, 2020). Ikke engang forskere innen temaet KI har noen presis definisjon (Temu Roos og Valtonen, 2020). To egenskaper som likevel kan bidra til å definere KI er autonomi og adaptivitet. Førstnevnte handler om evnen til å utføre oppgaver i komplekse omgivelser uten kontinuerlig hjelp fra mennesker, mens sistnevnte forklarer evnen til å forbedre prestasjonen ved å lære av erfaringer.

En annen forklaring av begrepet er at det er en samlet betegnelse for å beskrive når en maskin etterligner menneskelige kognitive funksjoner, som problemløsning, mønstergjenkjenning og læring (Rao, 2019). I denne masteroppgaven er det valgt å akseptere alle former for kunstig intelligens, både maskinlæring, nevralt nettverk, og algoritmer eller simuleringer som kan evaluere alternativer på en slik måte at mennesket ikke vil være i stand til å gjennomføre det samme.

I tillegg til KI, er det i denne oppgaven valgt å nevne begrepet utvidet intelligens (eng: Augmented Intelligence). Utvidet intelligens fokuserer på den assisterende rollen til KI for å understreke at teknologien skal forbedre og forsterke den menneskelige intelligensen fremfor å erstatte den (Rouse, 2018). Dette er altså en alternativ konseptualisering som fokuserer på å få mennesket til å jobbe bedre og smartere (Roberts, 2019). Ordet «augmented» forsøker å betegne «utvidet» eller «forbedret», og vil med det forsterke rollen menneskelig intelligens har når kunstig intelligens benyttes for å løse problemer.

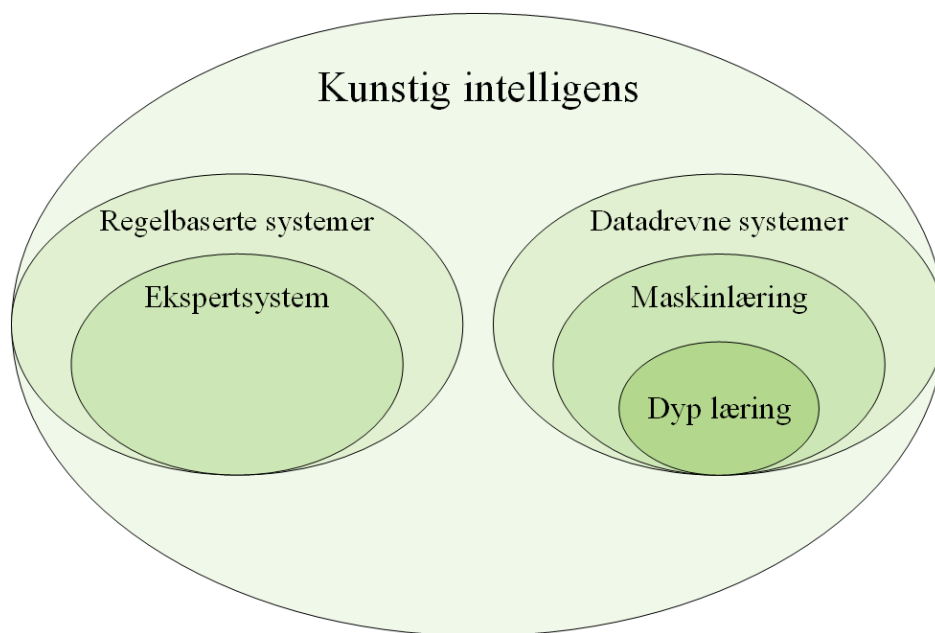
3.4.2 Typer KI

Det finnes flere metoder som bruker ulike typer kunstig intelligens. Det kan for eksempel være Knowledge Based Engineering, Fuzzy Logic, Genetic Algorithms eller Monte Carlo Simulations (Gilner m.fl., 2019). For å strukturere de ulike typene kunstig intelligens som benyttes, kan begrepet svært grovt deles inn i to hovedkategorier; regelbaserte og datadrevne systemer (Tidemann, 2020).

Regelbaserte systemer - Forstår begreper gjennom regler. Reglene er ofte programmert før modellen tas i bruk. Regelbaserte systemer kan også kalles ekspertsystemer.

Datadrevne systemer - Maskinen lærer i stedet for å bli programmert i forkant. Dette systemet kan deles inn videre i flere underkategorier, som maskinlæring og dyp læring.

De to hovedkategoriene og tilhørende underkategorier er illustrert i Figur 13 og blir videre kort utdypet.



Figur 13: Kategorisering av ulike typer KI

- Ekspertsystem

Et ekspertsystem er et delområde innenfor regelbaserte systemer. Det er definert som en datamaskinbasert algoritme som imiterer menneskelige beslutningsevner (Tidemann, 2020). Systemene genereres for å løse komplekse og vanskelige problemer ved å resonnerer om kunnskap. Disse systemene er hovedsakelig designet ved bruk av «if-data» struktur, i stedet for vanlige praktiske koder.

- Maskinlæring

Maskinlæring (eng: machine learning) er et delområde innenfor datadrevne systemer. Maskinlæring gir mulighet for et system å lære uten å bli programmert til hva den skal gjøre, ved hjelp av statistiske teknikker som skaper et system (Rao, 2019). Maskinlæringssystemer kan raskt anvende kunnskap og trening fra store datasett, eksempelvis for å utføre bilde- eller objektgjenkjenning, eller diverse oversettelser (Reese, 2017). Maskinen blir bedre og lærer mer, parallelt med at den blir eksponert for mer data (Pandey, 2020).

- Dyp læring

Dyp læring (eng: deep learning) er igjen et delområde innenfor maskinlæring (Temu og Valtonen, 2020b). Dyp sikter til kompleksiteten i matematiske modeller, og beregningskapasiteten til moderne datamaskiner har nylig gjort det mulig for forskere å øke denne kompleksiteten til helt nye høyder, ikke bare kvantitativt, men også kvalitativt. Dyp læring transformerer et problem eller en representasjon som er høydimensjonal, til en lavere dimensjonal representasjon (Salehi og Bugueno, 2018).

Måten dyp læring er bygd opp på, er inspirert av måten hjernen bearbeider visuell informasjon på (Pandey, 2020). De forskjellige «lagene» i enkle beregningsenheter er bundet sammen i nettverk som bearbeider informasjon fra det ene laget til det neste (Temu og Valtonen, 2020c). Altså er dyp læring en læreprosess for å trene opp såkalte nevralt nettverk (Tidemann, 2020).

3.4.3 Historie

Ulike tilnæringer til bruk av kunstig intelligens i byggebransjen har vært brukt og forsøkt utviklet siden begynnelsen av informasjonsteknologi startet på 1950-tallet (Eber, 2020). Det som først og fremst hindret kunstig intelligens fra å blomstre på dette tidspunktet, var at datamaskiner kun hadde mulighet til å utføre kommandoer, og ikke lagre dem. I tillegg var datamaskinene svært kostbare på denne tiden. Flere tiår med prøving og feiling passerte uten noen store suksessfulle resultat på grunn av for dårlige datamaskiner.

Det er derfor først de siste tiårene at det har vært en stor utvikling på området, ettersom datamaskiner har oppnådd stor nok datakraft og kapasitet til å muliggjøre en mer utbredt anvendelse av kunstig intelligens. Kapasiteten til bruk av kunstig intelligens avhenger altså av datakraften til datamaskiner, som blir doblet hver andre år i henhold til prediksjonen Moores lov (Larsen, 2015). Med nye, kraftige algoritmer, og det faktum at internett har blitt en enorm ressurs med tanke på ustrukturert data, er diskusjonen tilknyttet gevinsten av KI blitt enda mer aktuell (Eber, 2020).

Etter hvert som datavitenskapen har utviklet seg, ble også ideen om å styre komplekse oppgaver for unike prosjekter med støtte av datamaskiner etablert. Forskningsinteressen for å automatisk generere og optimalisere konstruksjonsplaner har ifølge Faghihi m.fl. eksistert siden begynnelsen av 1960-tallet, hvor Newell og Simon forsøkte å finne bedre måter å bruke databaserte algoritmer og applikasjoner på for å lette prosessen med planlegging (Faghihi m.fl., 2015).

Forbedringer i teorien om nettverksbaserte planleggingsteknikker som ble oppfunnet på slutten av 1950-tallet, sammen med forbedrede «miljøer» for maskin- og programvare, har resultert i elegante og kraftige verktøy for planlegging av byggeprosjekter (Levitt m.fl., 1995). Tidligere var det begrensende at de tradisjonelle planleggingsteknikkene kun var i stand til å manipulere data som var generert av manuell input. Kunstig intelligens gir derimot muligheter til å generere planer basert på lagret kunnskap og erfaring fra prosjektene.

3.4.4 KI i byggebransjen

AEC-bransjen beveger seg mot stadig økende automatisering for å forbedre produktivitet og sikkerhet (Mohammadpour m.fl., 2019). Til tross for oppmerksomhet fra akademikere, har BAE-industrien til nå vært motvillige til å ta i bruk automatiserte metoder til å produsere fremdriftsplaner (K. W. Yeoh m.fl., 2017). Det er flere årsaker til dette, hvor én av dem omhandler utfordringen med å generere gjennomførbare tidsplaner under prosjektspesifikke forhold som varierer fra prosjekt til prosjekt. Variasjon av prosjektforhold har svekket industriens tillit til å ta i bruk verktøy som automatisk genererer planer, og ifølge Yeoh foretrekker de å heller stole på manuelle metoder i stedet for automatiserte metoder som de oppfatter at de har liten kontroll og oversikt over.

Som mange andre næringer, strever BAE næringen med å finne analytikere som kan ta gjennomtenkte beslutninger basert på riktig informasjonsgrunnlag raskt nok. Beslutningene krever ofte beregningsmessig databehandling, men blir gjerne tatt basert på erfaring og intuisjon. Kunstig intelligens kan tilby eksepsjonelle fordeler med å øke automatiseringen i bransjen, overvinne menneskelige begrensninger i behandling av store datamengder, og har potensiale til å integreres i alle faser av et prosjekt (Mohammadpour m.fl., 2019). Videre presenteres ulike aspekter for kunstig intelligens i byggebransjen.

Krav til BIM

En forutsetning for å kunne bruke kunstig intelligens i et byggeprosjekt er at bygningsinformasjonsmodellen må være en fullstendig representasjon av byggverket som skal reises (Eber, 2020). Modellen lages som en sofistikert form for planlegging i tre dimensjoner, som fysiske objekter inkludert alle deres fysiske og logiske interaksjoner. I følge Eber må denne modellen være feilfri og fullstendig, og inneholde korrekt informasjon.

En ulempe med dette, med hensyn til kunstig intelligens, er at det i tillegg finnes spesielle elementer i en BIM som representerer informasjon i prosjektledelsens perspektiv, eksempelvis detaljerte kontrakter, milepæler eller intern organisatorisk samhandling, som ikke er tilgjengelig som strukturert data (Oprach m.fl., 2019). Dermed er ikke nøyaktig informasjon tilknyttet styring og ledelse av prosjektene tilgjengelig i selve modellen. Denne type informasjon må modelleres på en annen måte for å kunne benytte det som data til KI-teknikker.

Data fra byggeprosjekt

Drivstoffet til kunstig intelligens i form av datadrevne systemer er data. I byggeprosjekter produseres det data gjennom hele livssyklusen (Eber, 2020). Dette er dokumentasjon som samler seg i forskjellige former, eksempelvis fremdriftsplaner, pristilbud, tegninger, bilder, endringsmeldinger, kontrakter, eller sikkerhetslogger (Oprach m.fl., 2019). Denne dataen er typisk omfangsrik og ustrukturert. Å analysere denne typen stor og ustrukturert data og videre kunne hente ut verdifull informasjon til planlegging av fremtidige byggeprosjekter, er komplisert.

Det er hovedsakelig to utfordringer med bruk av kunstig intelligens tilknyttet byggebransjen (Mohammadpour m.fl., 2019). Den første er at KI ofte er basert på å lære fra utførte aktiviteter, og dette krever en signifikant mengde data som i dag ikke er utbredt i bransjen. Det andre problemet er enorme restriksjoner for datadeling og dataeierskap som finnes i dag. Med hensyn til nevralt nettverk, forteller Eber at det er et statistisk problem at to prosjekter ikke er like nok til å danne en database (Eber, 2020). For å trekke ut pålitelig informasjon fra rådata fra et lukket prosjekt, ville det krevd millioner av prosjekter, som til i dag ikke er tilgjengelig.

Gjennom flere undersøkelser er det presentert at verken erfaringer eller kunnskap fra byggeprosjekter blir dokumentert, verken i strukturert eller ustrukturert form (Eber, 2020). Ellers blir absolutt ingen signifikant informasjon, verken positiv eller negativ, publisert i noen form for databaser på nett (Streule, 2016). Denne type erfaringskunnskap blir behandlet internt i bedriftene, og derav aldri publisert offentlig. Erfaringskunnskap fra tidligere prosjekter er derfor begrenset i omfang. På en annen side øker mengden innsamlet data med den teknologiske utviklingen i byggenæringen (Oprach m.fl., 2019). Det er derfor forventet at data i byggebransjen vil øke eksponentielt med inntoget til heldigitalisering av bransjen.

Dersom fremdriftsplanlegging hadde blitt basert på realistiske og data tatt fra allerede gjennomførte prosjekter, ville det ikke vært nødvendig å legge inn buffere for å ta høyde for usikkerhet i den grad det må gjøres i dag. Dette kunne gitt positive økonomiske konsekvenser i et samfunnsperspektiv (Oprach m.fl., 2019). Dette kan også overføres til å oppnå mer motiverte ansatte som slipper å arbeide under tidspress dersom det er lagt inn for liten tidsbuffer, i tillegg til å unngå å gå på bekostning av sikkerhet og dårligere kvalitet.

3.4.5 Subjektiv refleksjon

Kunstig intelligens oppfattes blant mange som et «moteord». Det er derfor presentert for å gi en kort forklaring om hva begrepet egentlig innebærer. Det blir kun forklart i overflaten, ettersom oppgaven fokuserer på erfaringer og bruk av programvare som benytter kunstig intelligens. Det er derfor ikke interessant å grave seg dypere ned i informasjonsteknologien, da det krever et langt høyere nivå av informasjon. Litteraturen viser at kunstig intelligens har vært utbredt lenge. Mange artikler omhandler bruk av ulike algoritmer til fremdriftsplanlegging, men få presenterte testing i reelle prosjekter. Tilsynelatende ingen presenterte kommersielle programvarer. Det gjør det ekstra spennende å nå gå videre inn i oppgavens resultater, og analysere funnene.

4 Resultat fra intervju

Dette kapittelet presenterer resultater fra både uformelle og semistrukturerte intervjuer. Kapittelet er delt inn etter de tre forskningsspørsmålene, for å enklere kunne sammenligne resultatene i diskusjonskapittelet. De påfølgende delkapitlene består av følgende:

4.1 tar for seg resultatene knyttet til det første forskningsspørsmålet Den første delen omhandler informasjon om ulike programvarer, som er hentet gjennom uformelle intervjuer med ulike programvareleverandører. Dette for å belyse de ulike mulighetene som finnes på det internasjonale markedet. Den andre delen tar for seg bruk av programvaren ALICE i Norge. Denne informasjonen ble innhentet gjennom de semistrukturerte intervjuene med entreprenører, og er inkludert for å videre kunne diskutere erfaringene som finnes i den norske byggebransjen i dag.

4.2 redegjør for resultater knyttet til det andre forskningsspørsmålet, som ble funnet gjennom de semistrukturerte intervjuene med både norske entreprenører og en norsk programvareleverandør. Først blir ulike utfordringer tilknyttet fremdriftsplanlegging belyst. Dette for å kunne forstå behovet for kunstig intelligens, og i tillegg gi et bedre grunnlag for å sammenligne bruk av kunstig intelligens og tradisjonell planlegging. Deretter blir fordeler og ulemper med bruk av kunstig intelligens presentert.

4.3 omhandler det siste forskningsspørsmålet, og tar for seg forutsetningene for bruk av KI i fremtiden. Dette ble kartlagt under de semistrukturerte intervjuene med norske entreprenører og en norsk programvareleverandør.

4.1 Bruk av KI i fremdriftsplanlegging

4.1.1 Programvarer

I dette kapittelet presenteres totalt seks ulike programvarer. Disse er listet opp i Tabell 6. For hver av de seks programvarene er det beskrevet hva programvaren løser, hvilken type kunstig intelligens som benyttes, hva som kreves av input og manuelt arbeid, og hvilken output som fås ut. I forbindelse med artikkelen til bygg.no ble det i tillegg valgt å samle denne informasjonen i en matrise. Matrisen inneholder den samme informasjonen, men i en forkortet versjon. Matrisen er inkludert i Vedlegg C.2.

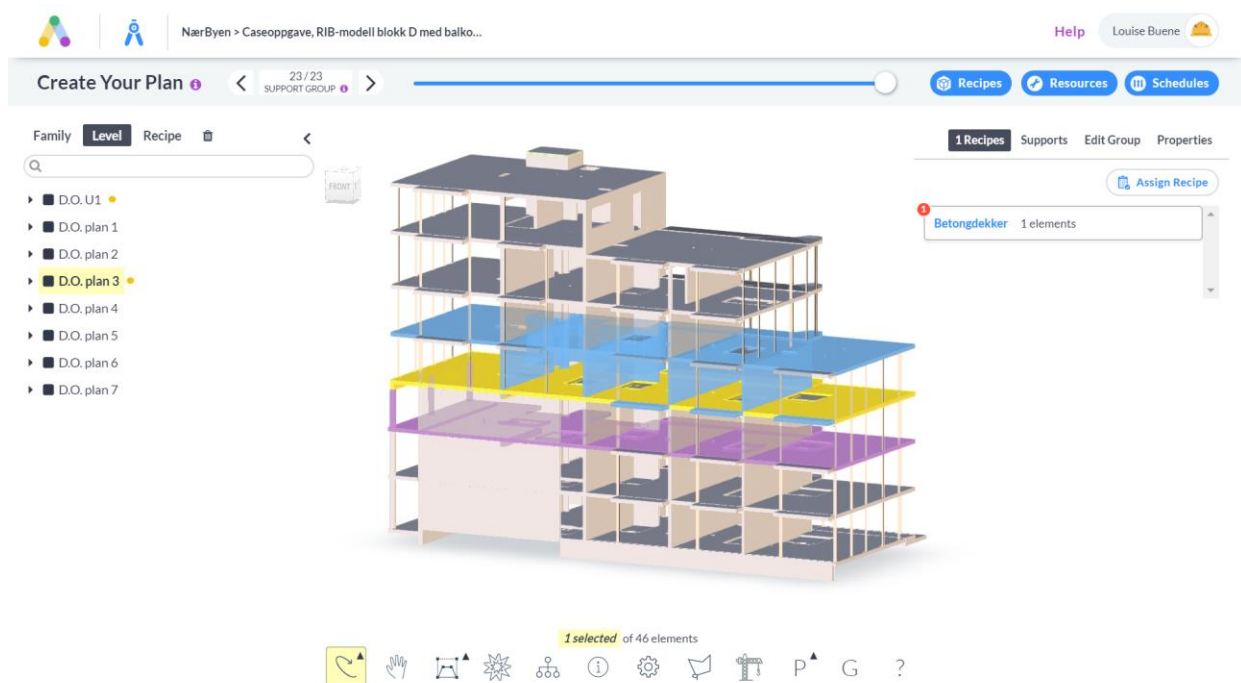
Tabell 6: Oversikt over kartlagte programvarer

Programvarer					
ALICE	nPlan	Kreo Plan	InEight Schedule	Kwant.ai	Holte Fremdrift

ALICE

ALICE står for ArtificialL Intelligence Construction Engineering, og er en KI-drevet plattform som kjører millioner av simuleringer slik at entreprenører raskt kan utforske mange ulike prosjektscenarier og strategier (Roedel, 2018). ALICE bruker BIM, og spesifikke kriterier og parametere for å lage en optimal fremdriftsplan på få minutter. Justering av parametere som antall arbeidere, tilgjengelig utstyr og byggematerialer kan gjøres for å se hvordan disse endringene vil påvirke prosjektets fremdrift og kostnader.

Et skjermtklipp fra plattformen er vist i Figur 14. Programvareleverandøren oppgir at de kan bidra med å løse prosjektets mest komplekse begrensninger, slik at entreprenører kan gi tilbud, planlegge og bygge raskere, billigere og med mer selvtillit. Videre kan ALICE hjelpe med å optimalisere viktige prosjektressurser som arbeid, utstyr og materialer, validere bygghøyden av en prosjektplan, og forbedre prosjektplanleggingen ved å bruke data fremfor heuristikk.



Figur 14: Skjermtklipp fra ALICE

Kunstig intelligens

ALICE bruker parametrisk simulering til å utforske alternative fremdriftsplaner, og dermed optimalisere fremdriftsplaner basert på tid og kostnad. Programvareleverandøren oppgir at de er den første plattformen i byggebransjen som kombinerer entreprenørers erfaring med en kraftig generativ simuleringsmotor for å kunne utforske alternativer. Programmet arbeider direkte med prosjektets BIM og bruker et enkelt regelbasert system for å gi mulighet til å utforske "hva-hvis" scenarier eller replanlegge på kort tid.

Input og manuelt arbeid

ALICE tar inn og bruker prosjektets BIM direkte. Programmet importerer i dag filer i Revit- eller Navisworksformat. Deretter må det settes opp «regelsett» i ALICE som beskriver omfanget og begrensningene til prosjektet. Det vil si at blant annet elementgrupperinger og avhengigheter må sees gjennom og eventuelt justeres. I tillegg må det legges inn informasjon om prosjektressurser, og det må lages oppskrifter eller konstruksjonsmetodemodeller som inneholder de nødvendige oppgavene som må gjennomføres for å konstruere et element. ALICE bruker deretter disse retningslinjene for å gjøre simuleringene, og sammenligne de beste alternativene med hensyn til tid og kostnad (Alphonso, 2019).

Output

ALICE produserer ulike forslag til detaljerte fremdriftsplaner som tar hensyn til alle aspekter av prosjektet, inkludert tilknyttede kostnader. I tillegg kombinerer ALICE 3D-modellen med et Gantt-diagram som gir en automatisk generert 4D-visualisering. Det er også mulig å følge opp og optimalisere bruken av viktige prosjektressurser. Eksport av fremdriftsplanen kan gjøres til filformatene Primavera P6.XML, .XER og .CSV.

nPlan

nPlan mener at byggeprosjekter blir konsekvent og kritisk forsinket på grunn av ineffektive fremdriftsplaner og misforstått risiko. nPlan forteller at de løser utfordringen med å angi varighet og sekvenser av komplekse prosjekter ved å bruke avanserte metoder i maskinlæring. nPlan kan forutse utfallet av byggeprosjekter for å hjelpe med å forstå kompleksitet og risiko. Basert på fremdriftsplanen kan nPlan forutse prosjektets utfall ved å fremheve risiko og foreslå optimale utførelsesveier (Young, 2018). nPlan kan dermed oppdage og korrigere dyre forsinkelser før de oppstår som illustrert i Figur 15.



Figur 15: Illustrasjon over hvordan nPlan fungerer (Amratia, 2019)

Kunstig intelligens

nPlans patentsøkte algoritmer bruker naturlig språkprosessering og «deep learning»-teknikker, og har en kontekstuell forståelse av gjennomføringen til ethvert prosjekt. Algoritmene kan forstå prosjektplaner, og lærer fra resultatene av tidligere prosjekter. Dermed kan de selv organisere seg for å etterligne menneskelig erfaring med høy nøyaktighet. nPlan har trent algoritmene sine med rundt 250.000 fremdriftsplaner, noe som ifølge dem selv gjør det til det største biblioteket med fremdriftsplaner i verden.

Input og manuelt arbeid

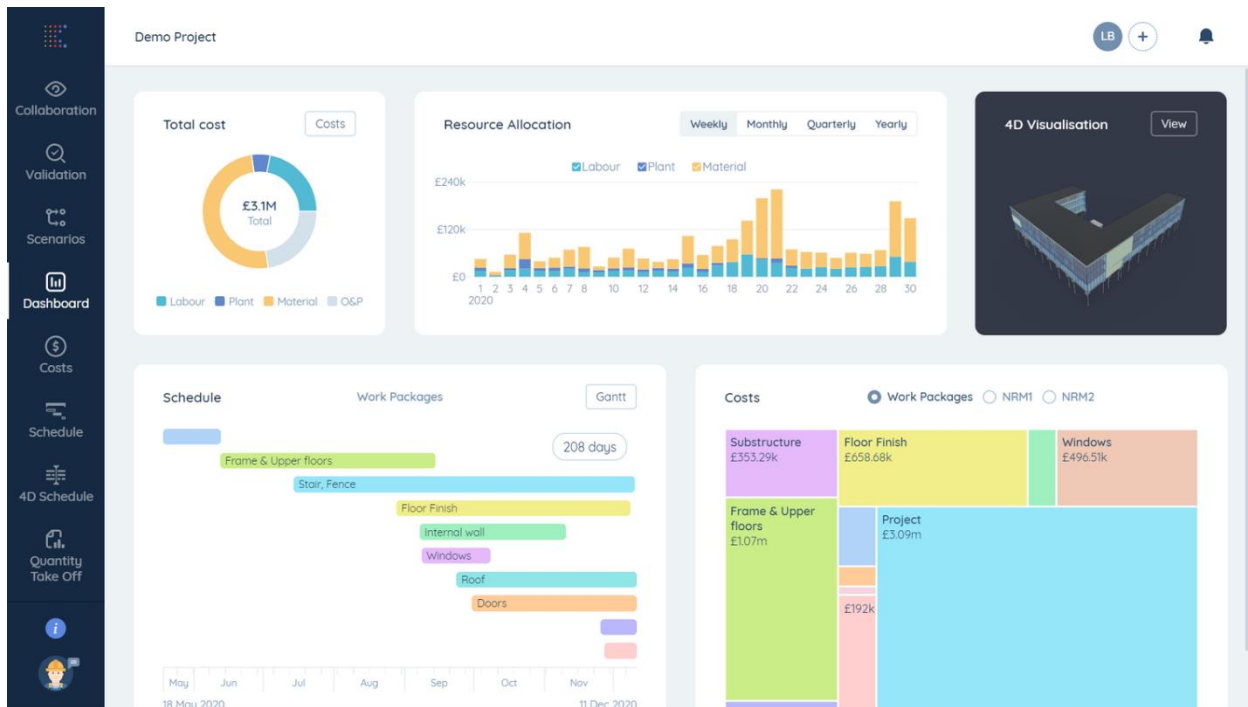
Bruk av nPlan er en totrinns prosess. Først må algoritmen lære om innholdet til den spesifikke kunden eller bedriften, og deretter kan den lage prognoser for prosjekter i fremtiden. Algoritmen til nPlan lærer ved å observere den faktiske ytelsen til prosjekter sammenlignet med planen. nPlan bruker historiske prosjektplaner fra den aktuelle bedriften for å gjøre denne læringen. Fremdriftsplan- (eller program-) filene som brukes som input må være i .XER- eller .XML-format. Når dataene er lokalisert av kunden, overtar nPlan. Det er noe konsultasjon gjennom denne 4-6 måneders prosessen, men det kreves lite fra kundesiden. Når opplært, kan bedriften bruke nPlan til å analysere programmene og planene sine så ofte som nødvendig.

Output

nPlan har designet resultatene for å være intuitive og nyttige for entreprenører og ulike prosjektinteressenter, fra direktører til prosjektledere og planleggere. nPlan gir probabilistiske resultater med innsikt i en rekke ulike parametere. Blant annet fås det tilgang til prosjektens programhelse, slik at det er mulig å raskt kunne identifisere de mest risikofylte prosjektene i både anbuds- og utførelsesfasen. Ved bruk av nPlans uavhengige, datadrevne prognoser kan det videre forhindres uventede forsinkelser, og fås mer tillit til tallene som blir rapportert om prosjektene. Output kan enten nås via nPlans webapp, via en nettleser, eller tilpasses ved hjelp av forskjellige verktøy inkludert PowerBI, Tableau, Excel, eller lignende.

Kreo Plan

Kreo er en skybasert planleggingsprogramvare som bruker kunstig intelligens og er sentrert om prinsippene til BIM. Kreo Plan analyserer eksisterende bygningsinformasjonsmodeller, korrigerer disse, og genererer detaljert rapportering, samt informasjon og prosjektprognoser. Kreo Plan automatiserer blant annet BIM klassifisering, BIM-kontroll for feil og kollisjoner, mengdeuttak, kostnads- og fremdriftsestimering, Gantt-diagrammer, rapportgenerering og 4D-visualisering. Kreo muliggjør dermed rask og nøyaktig planlegging av høy kvalitet. Et skjermtklipp fra programmet er vist i Figur 16.



Figur 16: Skjermetklipp fra Kreo Plan

Kunstig intelligens

Kreo Plans kunstige intelligens klassifiserer BIM-elementer, automatiserer mengdeopptak, kartlegger relevante rater og konstanter fra databasen til kalkyle og kostnadsplaner, og genererer konstruksjonssekvens i 4D. Algoritmer genererer flere ulike planer og alternativer enkelt og raskt. I tillegg bruker Kreo Plan maskinlæring for å identifisere og klassifisere BIM-elementene. Ved å ta hensyn til elementenes geometri og andre attributter sikrer de klassifisering av høy nøyaktighet (Kreo Plan, u.d.).

Input og manuelt arbeid

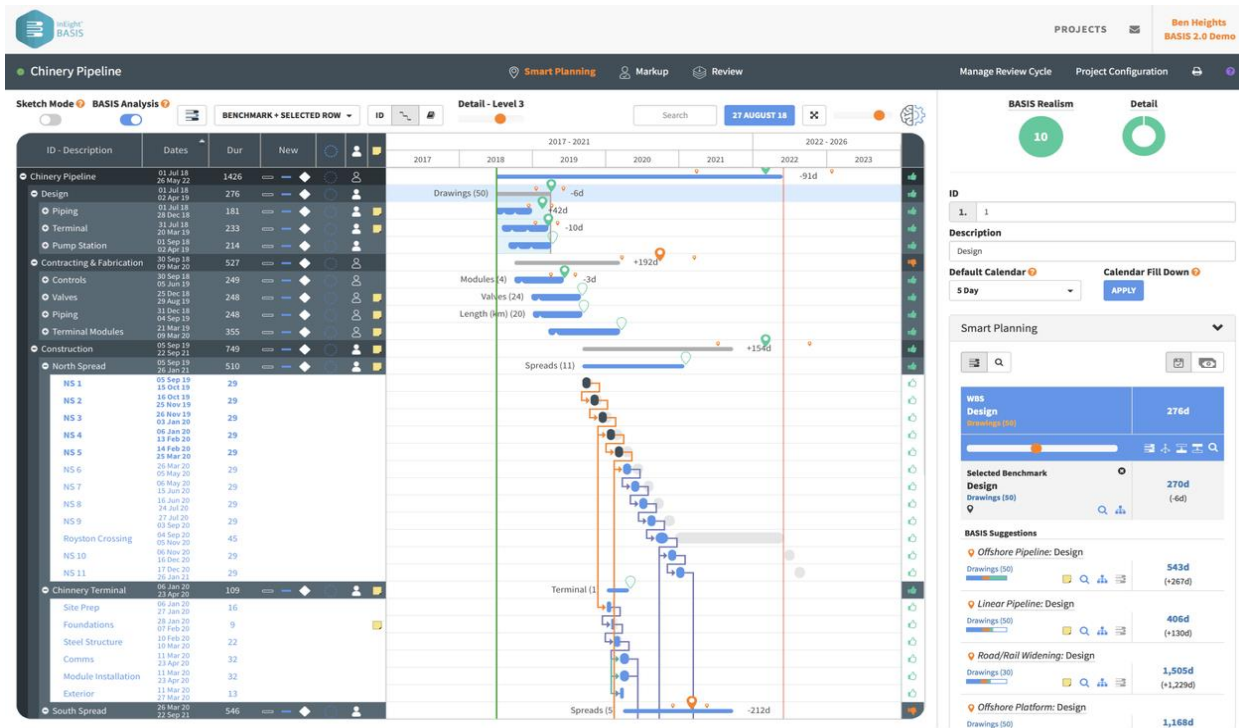
Kreo Plan importerer en BIM, enten ved integrasjon med Revit gjennom en «plugin», eller ved å laste opp en .IFC eller .BIM-fil. Deretter gjennomføres blant annet kontroll av feil og mangler, klassifisering, og tildeling av egnet konstruksjonsmetode til elementene.

Ouput

Output fra Kreo Plan er blant annet ulike alternative fremdriftsplaner optimalisert for kostnad, varighet og ressursallokering. I tillegg fås det tilgang til et detaljert kostnadsestimat, Gantt-diagram og 4D-visualisering. Eksport av rapporter kan gjøres til MS Project og Excel.

InEight Schedule

InEight Schedule leverer prosjektplaner som er realistiske og risikjusterte, både når det gjelder fremdrift og kostnad. Programvaren kombinerer menneskelig og kunstig intelligens for å gi smarte forslag og risikovurderinger basert på en organisasjons historiske prosjektkunnskap. Denne typen KI-assistert planlegging akselererer ikke bare planleggingsprosessen, men forbedrer også kvaliteten og realismen til planene (InEight Schedule, 2019). En illustrasjon er vist i Figur 17.



Figur 17: Illustrasjon av InEight Schedule (InEight, u.d.)

Kunstig intelligens

InEight Schedule bruker en unik inferensmotor og maskinlæring for kontinuerlig lagre og analysere historisk prosjektinformasjon i et kunnskapsbibliotek, og presentere intelligente milepæler og forslag til planleggeren.

Input og manuelt arbeid

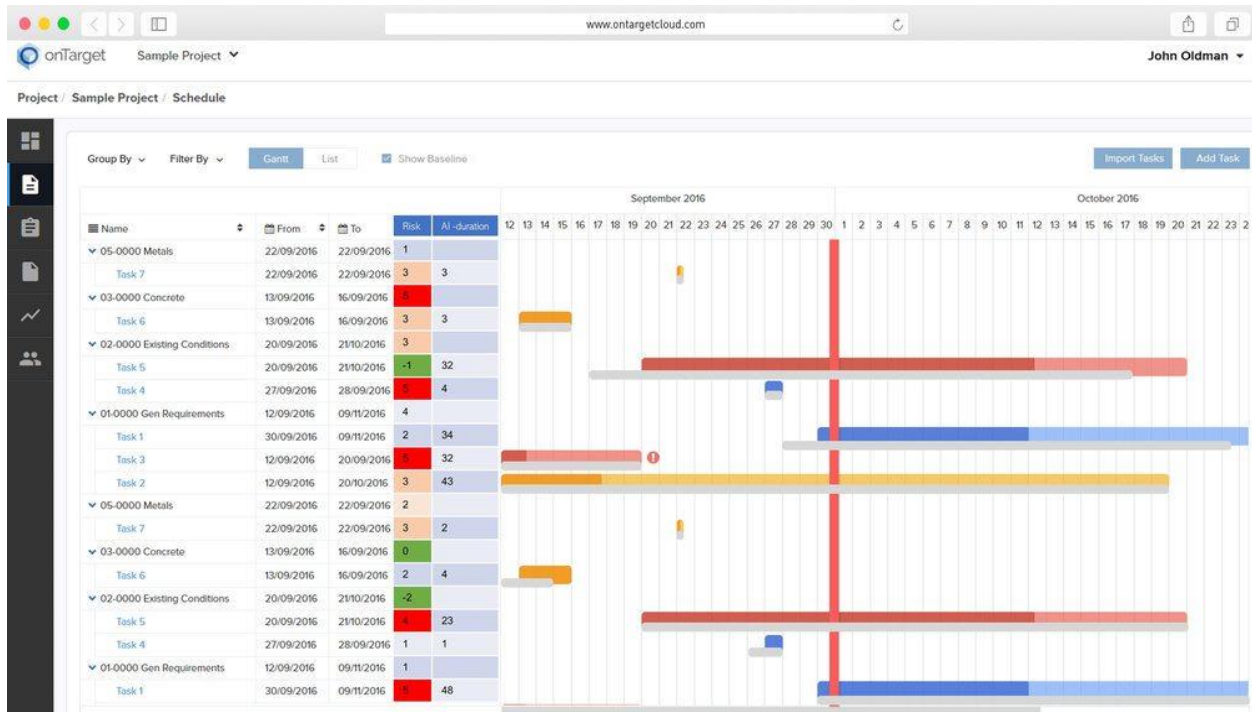
Med InEight Schedule kan nye planer bygges, eller eksisterende evalueres, ved å bruke innsikt fra den historiske kunnskapen i kunnskapsbiblioteket. Systemet kombinerer kunstig og menneskelig intelligens, slik at planleggere kan få tilbakemeldinger fra prosjektteamet og bruke det inn i fremdriftsplanen. InEight Schedule kan ta inn filer fra Primavera, MS Project og Excel.

Output

InEight Schedule gir organisasjoner mulighet til å etablere mer realistiske og oppnåelige prosjektplaner raskt. Eksport av fremdriftsplaner kan gjøres til Primavera, MS Project og Excel.

Kwant.ai

Kwant.ai forteller at de forbedrer sikkerheten og produktiviteten på byggeplasser ved å gi sanntidsinnsikt om arbeidskraft og bemanning. I tillegg kan Kwant.ai forutse forsinkelser og sikkerhetshendelser som enkelt kan forhindres. Programmet planlegger og etablerer prognoser for arbeidskraft og prosjektets varighet, basert på kunstig intelligens (Kwant, u.d.). Et eksempel på en fremdriftsplan i programvaren er vist i Figur 18.



Figur 18: Illustrasjon av Kwant.ai (Kwant, u.d.)

Kunstig intelligens

Kwant har analysert flere tusen prosjekter ved bruk av kunstig intelligens, og algoritmen deres kan standardisere ustrukturert data. Dette benyttes til å estimere fremtidig arbeidskraft, inkludert antall ansatte og timeverk. I tillegg brukes KI for å gjøre sikkerhetsmålinger, inkludert hyppighet av hendelser, beliggenhet, og usikker oppførsel hos arbeidstakere. Risikomålinger som tar hensyn til fremdrift, forsinkelser i aktivitet, krav til arbeidskraft, og kostnads- og tidseffekt gjøres også ved hjelp av kunstig intelligens.

Input og manuelt arbeid

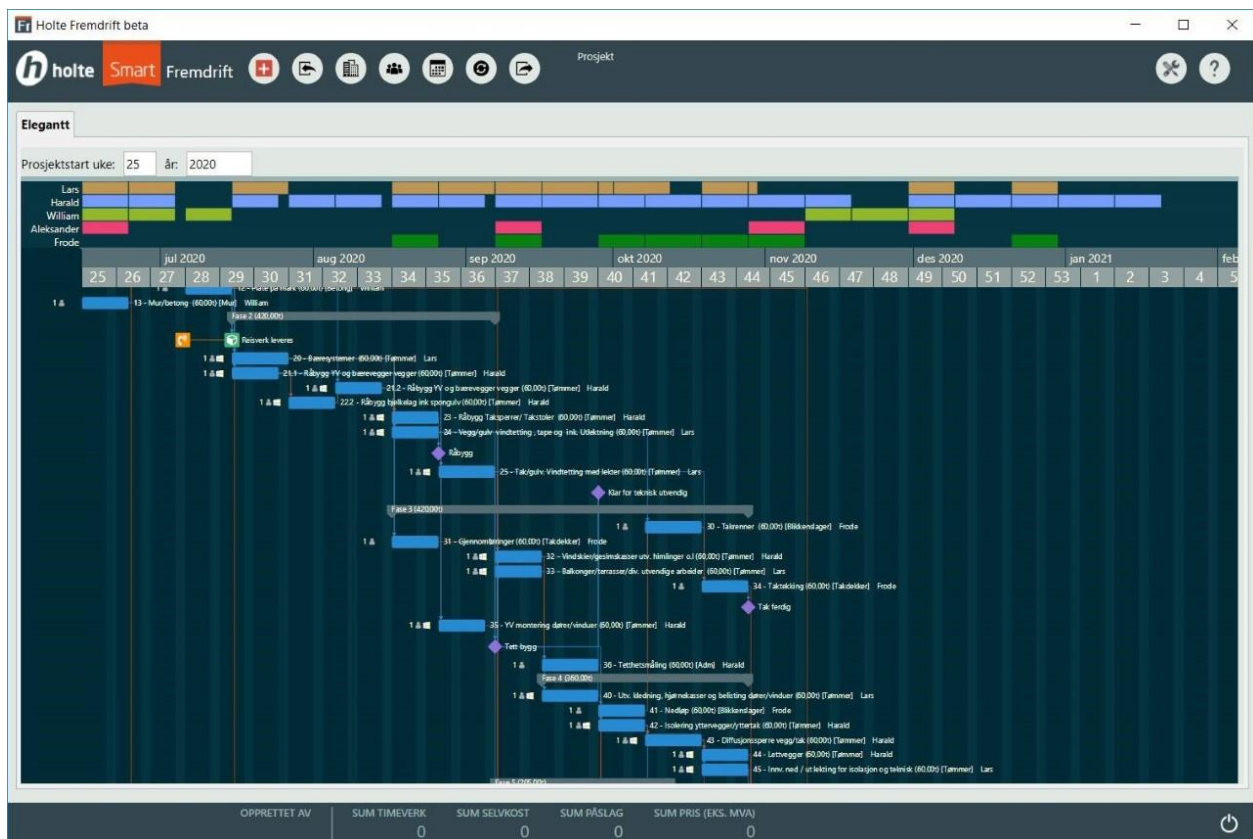
Som input benytter Kwant.ai en MS Project- eller P6-plan, en BIM-modell, info om ansatte, og en database som for eksempel kan inneholde OSHA, SST-opplæring og sertifikater. Kwant.ai støtter import av alle typer 3D-filer, som Revit, Navisworks, IFC, DWG, og mer. I tillegg til å legge inn denne informasjonen, må fremdriftsplanen manuelt kobles til BIM-modellen. Underveis må også fremdriften for aktivitetene oppdateres, inkludert prosent fullført.

Output

Som output fås det ut produktivitetsrater for forskjellige fag, deriblant arbeidstid og materialer. I tillegg gir Kwant.ai innsikt i prognoser for arbeidskraft, inkludert antall ansatte og timeverk. Videre kan Kwant.ai identifisere høyrisikoaktiviteter basert på nåværende fremdrift, forsinkelser, og tid- og kostnadseffekt av aktiviteten. Prosjektkontrollrapport og Gantt-diagram blir generert i programmet. Kwant.ai tilbyr også «geofencing» av arbeiderne, for å visualisere deres beliggenhet gjennom hele prosjektet. Fremdriftsplaner kan eksporteres til Microsoft Project og P6. Eksport av arbeidstid etter lokasjon kan også gjøres til Excel.

Holte Fremdrift

Holte kan generere fremdriftsplaner på bakgrunn av informasjon fra kalkyle i Holte SmartKalk, eller ved hjelp av andre elementer og maler. En illustrasjon er vist i Figur 19. Programmet gir forslag til en plan med avhengigheter mellom typiske fysiske byggetrinn. I tillegg simulerer programvaren seg frem til den mest optimale ressursallokeringen, og kan også koble inn UE og ta hensyn til bestillinger og leveranser. Holte tilbyr også replanlegging, slik at det er mulig å gjøre endringer i planen på en trygg måte. Endringer som oppstår underveis kan legges inn, og det kan da fås ut nye planforslag. Å koble inn materialforbruk, ressursforbruk og faktisk brukt tid gjør at programmet gir ut en levende plan.



Figur 19: Illustrasjon av Holte Fremdrift

Kunstig intelligens

Holte benytter kunstig intelligens til å allokere ressurser til oppgaver, og simulerer seg frem til optimal ressursallokering basert på ressurspoolen til bedriften. Dette er et NP-komplett problem, altså et eksponentielt problem. Holte tilnærmer seg dette problemet ved å se på ressurser, ressursavhengigheter, begrensninger og hvordan prosessene kan optimaliseres. Dette kalles også Resource Constraint Project Scheduling Problem (RCPSP), og programvaren bruker kunstig intelligens til luke ut de dårligste løsningene for å finne de beste. Det som brukes er teknikker som prøver å redusere det komplekse problemet ned til noe enklere.

Input og manuelt arbeid

Holte bruker i utgangspunktet kalkyldata som hentes fra eget system, blant annet om kostnader, tid og ressurser. Holte baserer seg på åpne standarder, og hovedsakelig buildingSMART standardene. Derfor støtter Holte IFC-import til kalkyleverktøyet. Fra modellen hentes alle mengder og materialer og det som skal være med inn i kalkylen, som igjen tas videre inn i fremdriftsplanleggingsverktøyet. Dersom IFC-modell ikke benyttes av kunden, kan det bygges egne resepter eller maler på hvordan den enkelte kunden gjør arbeidet sitt. I malene bygger hver bedrift inn sine byggemetoder, kostnader og tidsforbruk.

Output

Output er først og fremst en gyldig fremdriftsplan i den forstand at det ikke er noen overallokeringer, at alle kalenderrestriksjoner er tatt med, og at alle fysiske avhengigheter og leveranseavhengigheter er tatt høyde for. Modulen er ment for å kunne simulere og vise fremdrift ut på skjerm, og output er derfor presentert som en god rapport og visning visuelt på skjermen. I tillegg tilbyr programmet eksport til MS Project. Output er et altså et nettverk av avhengigheter og leveranser, milepæler og ressurser.

4.1.2 Bruk av ALICE i Norge

I dette kapitlet presenteres det hvordan tre av Norges største entreprenører har testet ALICE i sin bedrift. De tre entreprenørene som etter forfatternes kjennskap har testet eller brukt programvaren vises i Tabell 7.

Tabell 7: Oversikt over entreprenører i Norge som har testet ALICE

Bruk av ALICE i Norge		
AF Gruppen	Kruse Smith	Veidekke

ALICE i AF Gruppen

AF Gruppen testet ALICE på Bispevika i Oslo. Bispevika var et prosjekt som i utgangspunktet gikk inn med store ambisjoner om å satse på innovasjon i alle ledd av prosjektet (AF Gruppen, u.d.). Det ble valgt å prøve å implementere flere digitale verktøy, blant annet ALICE. Fire intervjuobjekter fra AF Gruppen ble intervjuet angående bruken av denne programvaren på Bispevika.

To av intervjuobjektene testet ALICE på en kjellerkonstruksjon med mye flatt areal i Bispevika. Det ble produsert en fremdriftsplan for kjellerkonstruksjonen på den tradisjonelle måten, og deretter ble det forsøkt å gjenskape denne planen så godt som mulig i ALICE. Dette klarte de med et par dagers avvik. Deretter testet de ulike scenarioer, der de justerte på de ulike ressursene. Blant annet kunne de justerte hvor mange kraner de hadde tilgjengelig, bemanning og forskalingsmateriell. Da fikk de raskt se om de ulike endringene ville ha en effekt, både med hensyn til tid og kostnad.

Planene i ALICE kunne også sammenlignes mot fremdriftsplanen laget manuelt på tradisjonelt vis, og fremdriften ute på plassen. Da kunne de undersøke om de fikk se noen gode kombinasjoner som de ikke hadde tenkt på, eller om det var mulig å gjennomføre prosjektet raskere eller billigere. Etter hvert som det skjedde endringer underveis i prosjektet og planen måtte korrigeres, prøvde de å se hvilke forslag ALICE kom med. Dermed kunne de dra nytte av ALICE videre i planleggingen.

Testingen av ALICE startet med en uke intensiv opplæring sammen med representanter fra ALICE. Deretter fortsatte testingen et halvt års tid med ukentlige oppfølgingsmøter. Det var planer om å dra inn mer av bygningsmassen, blant annet å ta med råbygget. Det ble gjort noen forsøk med dette, men de fikk ikke store utslag med råbygget ettersom dette er ganske kranavhengig. Videre ble det tenkt at testingen skulle inkludere innredning, og at programmet skulle kobles opp mot andre aktører.

Det hele ble avsluttet ettersom prosjektet i seg selv etter hvert fikk dårlig tid, og ikke gikk så bra økonomisk. For å kutte kostnader ble innovasjonsdelen lagt til side. I tillegg er ALICE en svært kostbar programvare. AF Gruppen gikk inn i en betalingsmodell med ALICE, som gjorde at de skulle være med å utvikle programvaren og at ALICE skulle få informasjon fra de på byggeplassen. Det ble aldri prøvd ut ordentlig, og testingen ble til slutt skrinlagt.

ALICE i Kruse Smith

Kruse Smith testet ALICE i forbindelse SUS2023 prosjektet. SUS2023 står for utviklingen av nytt sykehus i Helse Stavanger (Helse Stavanger, u.d.). Kruse Smith har råbyggsentreprisen på dette prosjektet, og det var derfor i utgangspunktet en god match for å teste ALICE. Ett intervjuobjekt fra Kruse Smith ble intervjuet angående testingen av ALICE på SUS2023.

Kruse Smith satt i likhet med AF Gruppen i en uke på fulltid sammen med ALICE. Prosjektteamet og ALICE kunne da sammen se på ulike alternativer. Kruse Smith brukte litt tid på ALICE etterpå, men investerte ikke nok tid til å dra det videre. De hadde ikke ressurser til å ha fokus nok på det i prosjektet, og dermed ble det avsluttet.

ALICE i Veidekke

Veidekke har foreløpig gjennomført testing av ALICE uten opplæring og støtte fra ALICE. Dette ble gjort som en innledende testing for å undersøke om de skulle gå videre med opplæring, og gå inn i en betalingsmodell sammen med ALICE. To intervjuobjekter ble intervjuet angående testingen av ALICE i Veidekke.

Veidekke testet ALICE i en to-ukers periode, men har hatt tilgang i en lengre periode. Målet var å teste om ALICE ville fungere med anbudsmoellene til Veidekke. ALICE ble derfor testet på en anbudsmoell for en boligblokk i Oslo, for å se om dette var noe som kunne automatiseres eller om det måtte gjøres mye manuelt arbeid for å benytte programmet. I løpet av testperioden prøvde de å komme seg igjennom ALICE sin programvare ved å bruke samme tilnærming som kalkulatørene bruker. Dette med hensyn til utregning, mengder og erfaringstall for hvor lang tid ting tar å bygge. Det var ikke så stort fokus på det faktiske resultatet, fokuset var å greie å i det hele tatt komme frem til et resultat.

Per dags dato har Veidekke en pause mens de venter på videre kommunikasjon med ALICE. Etersom de erfarer at ALICE ikke har fungert tilstrekkelig, ønsker Veidekke å ta opp forskningsspørsmålene sine før de beslutter om de skal gå videre med programvaren eller ikke. Veidekke er fortsatt interesserte, så fremt ALICE har en løsning på det de ber om.

4.2 Fordeler og ulemper ved bruk av KI

De ulike utfordringene, fordelene og ulempene som ble identifisert i løpet av de semistrukturerte intervjuene er samlet i kategorier som kan sees i Tabell 8.

Tabell 8: Oversikt over utfordringer, fordeler og ulemper

Utfordringer	Fordeler med KI	Ulemper med KI
Omfattende fag og for lite kompetanse	Flere og optimaliserte fremdriftsplaner	Konservativ byggebransje
Endringer og uforutsette hendelser	Gode indikasjoner	Mangel på tillit til verktøy
Tilgang på informasjon	Effektiv planlegging	Begrenset fornuftig forståelse
Prosjektbegrensninger	Datakraft og kompleksitet	Krevende bruk
Samarbeid i prosjekt		Manglende funksjoner

4.2.1 utfordringer ved dagens praksis for fremdriftsplanlegging

I dette delkapittelet presenteres fem utfordringer ved dagens praksis for fremdriftsplanlegging, som ble identifisert under de semistrukturerte intervjuene.

Omfattende fag og for lite kompetanse

Ved utarbeidelse av fremdriftsplaner ved hjelp av de tradisjonelle metodene er det så arbeidskrevende å skulle undersøke ulike alternativer, at det som regel kun utarbeides én eller to planer. Fremdriftsplanene som skal sammenstilles er altså ofte så omfattende at det er utfordrende å sørge for at kvaliteten på disse blir god. Flere av informantene fortalte at det ofte handler om å kun få opp en plan for å tilfredsstille krav og ha noe å peile etter, og så vil uforutsette hendelser og endringer resultere i at planen ikke kan følges uansett.

Flere av intervjuobjektene hadde også erfaring med at fremdriftsplanlegging i utgangspunktet er et fagområde som det er få som egentlig kan. Det opplevdes også at kompetansen rundt programvarene som ble benyttet i fremdriftsplanleggingen var for lav, både innad i bedriftene og blant samarbeidspartnere. En utfordring er altså at fremdriftsplanlegging er en veldig omfattende oppgave og at det ofte er for lite kompetanse i faget.

Endringer og uforutsette hendelser

En av de største utfordringene ved fremdriftsplanlegging er at det kan ses på som et ekstremt komplekst valg som gjøres tidlig, og som får føringer for hvordan det kan planlegges videre. En plan vil alltid bare være en plan, og virkeligheten er ikke rent teoretisk. Intervjuobjektene var enige om at det kan brukes mye tid på å lage gode og troverdige planer, men når prosjekter skal gjennomføres i virkeligheten vil det alltid skje helt andre ting enn det som det er planlagt for. Plutselig er det nye forutsetninger eller uforutsette hendelser som dukker opp, og planene må endres hele tiden. Helt enkle aktiviteter som får små utfordringer, kan få stor betydning i sin helhet for prosjektet.

Det er vanskelig å kontrollere alt som skal skje rundt og inne i byggverkene. Derfor er det mye usikkerhet knyttet til dette, og dermed også vanskelig å lage detaljerte og gjennomførbare planer. Flere av intervjuobjektene mente at det er for mye variasjon i byggebransjen og prosjektforhold til å gjøre planleggingen til en effektiv prosess, og i tillegg vil det uansett måtte gjøres endringer i forhold til den planlagte planen. Derfor er det nødvendig å ha fleksibilitet for å kunne fange opp variasjonen til planen. Når det skjer uforutsette ting må det være en struktur og et rammeverk som sikrer at det er mulig å komme tilbake igjen på planen, noe som er en stor utfordring i dag.

Tilgang på informasjon

Spesielt informantene fra Holte påpekte tilgang på informasjon som en utfordring. Tilgang på oppdatert data om tid, kostnad og kvalitet er helt essensielt for å lage en god fremdriftsplan. Det er altså mange parametere og detaljer som må være på plass. Varighet for hver aktivitet må

estimeres, og hver oppgave krever en viss type verktøy og/eller materiale. Ressurser i form av arbeidskraft som trengs på en byggeplass kommer gjerne fra ulike bedrifter, og det kan være krevende å få kontroll over hvilke ressurser prosjektet innehar både før oppstart og underveis. For eksempel kan det være utfordrende å ha oversikt over tilgjengelighet blant underentreprenørens ansatte, med tanke på ferier eller oppdrag på andre prosjekter. I tillegg må det bestemmes om oppgaven krever spesiell kompetanse eller kunnskap.

Prosjektbegrensninger

Et prosjekt vil ha flere begrensninger å forholde seg til når det skal fremdriftsplanlegges. Et av intervjuobjektene påpekte at et byggeprosjekt har vesentlig flere fysiske begrensninger, enn hva for eksempel et software-prosjekt har. Fysiske lover gjør at eksempelvis grunnmuren må bygges før taket legges. Dette fører til noen helt elementære rekkefølger på flere elementer, grunnet fysiske begrensninger. I tillegg vil det være begrensninger av ressurser i form av verktøy eller utstyr som det ikke er uendelig tilgang til.

Byggekran er en typisk ressurs som gjerne er okkupert gjennom hele dagen, og må derfor planlegges nøye for å få effektiv flyt. Materialer er en annen ressurs som det ofte ikke er uendelig tilgang til. Også arbeidskraft vil ha begrensninger, i den grad det kanskje ikke er mulig å sette flere personer på jobben selv om det finnes flere tilgjengelige. Ellers vil også frister og leveranser være med som en styrende parameter for fremdriftsplanlegging. Det er altså en utfordring å ta høyde for alle begrensninger som er til stede i et prosjekt ved fremdriftsplanlegging.

Samarbeid i prosjekt

En annen utfordring som ble nevnt var å få til godt samarbeid på tvers av aktører. Et byggeprosjekt vil bestå av mange ulike aktører, med sin egen agenda og sine egne mål. Også internt i et stort prosjektteam er det mange ulike mennesker som jobber sammen, og mye som skal koordineres. Det å prøve å få ett prosjekt med ulike mennesker og ulike aktører til å jobbe mot samme mål er en kompleks oppgave i seg selv.

Dette har også sammenheng med utfordringen om å få riktig informasjon til riktig tid. Dette kan være vanskelig, spesielt i store prosjekter med mange oppgaver. Dersom det er mange aktører på et prosjekt, er det vanskelig å få til en høyfrekvent tilbakemeldingssløyfe med rapportering av status med høy presisjon. Et av intervjuobjektene mente blant annet at den subjektive karakteren av statusrapporteringen ikke er reell, og derfor vanskeliggjør mye planlegging. Et godt samarbeid er dermed ofte en utfordring i sammenheng med fremdrift og fremdriftsplanlegging.

4.2.2 Fordeler ved bruk av kunstig intelligens

I dette delkapittelet presenteres fire fordeler for bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging.

Flere og optimaliserte fremdriftsplaner

I tradisjonell fremdriftsplanlegging er det lite fokus på andre muligheter eller alternative måter å bygge på. Aktivitetsrekkefølge og fordeling av ressurser blir gjerne kopiert fra tidligere prosjekter, og det tas ofte erfaringsbaserte avgjørelser. Videre vil det i en tradisjonelt planlagt fremdriftsplan ofte dannes opphold, som det ikke uten videre er enkelt å fylle basert på menneskelig intelligens grunnet komplekse avhengigheter i planen. Dagens praksis for fremdriftsplanlegging vil som regel kun resultere i én alternativ fremdriftsplan.

En fordel med kunstig intelligens og programvarer som ALICE er derfor muligheten til å kunne finne kombinasjoner og alternativer som mennesker vanligvis ikke ville ha sett eller tenkt på. Ved å kjøre simuleringer med flere ulike parametere kan det bli undersøkt og utforsket veldig mange strategier for gjennomføring, noe som gir mulighet til å tenke nytt. Dette kan videre gi optimaliserte fremdriftsplaner for å effektivisere byggingen, og potensielt kutte kostnader. For eksempel kan KI planlegge for at aktiviteter og fag kan arbeide tettere opp mot hverandre og fylle større deler av tidsrommet som prosjektet har. Dette resulterer i at programmer som ALICE kan gi rekkefølgen den mener er raskest eller billigst å bygge på.

Gode indikasjoner

En ulempe som blir presentert i 4.2.3 er at noen intervjuobjekter opplevde at bruk av kunstig intelligens ikke nødvendigvis genererte hensiktsmessige fremdriftsplaner, for eksempel med tanke på ressursbruk. Fordelen med kunstig intelligens og programmet ALICE er likevel at planene kan gi en pekepinn og signaler om hva som vil lønne seg generelt i prosjektet. Planene til ALICE kan for eksempel gi et inntrykk om hvor mange forskalingssett det ville lønne seg å ha generelt i et prosjekt. Disse pekepinnene vil gi gode indikasjoner, selv om den fornuftige forståelsen til programmet ikke nødvendigvis er fullstendig. Sammen med vurderinger fra mennesket vil programmet kunne komme med gode forslag ved at det kan gi indikasjoner på hva som er raskeste eller billigste byggerekkefølge, og være et godt hjelpemiddel for å anslå ressursbehovet.

Effektiv planlegging

Bruk av kunstig intelligens og ALICE kan også være en svært effektiv måte å få ut fremdriftsplaner på. Dersom alle parameterne og oppskriftene som ALICE trenger allerede er kartlagt, vil det ta svært kort tid å få laget en fremdriftsplan for et bygg. Denne typen programvarer kan altså bidra til å effektivisere planleggingsprosessen. I tillegg kan input enkelt endres, slik at nye planer med nye aktivitetsrekkefølger kan genereres raskt. Dermed kan konsekvensene av å gjøre endringer sees veldig fort, og således fås det mulighet til å analysere ulike «hva-hvis»-scenarier med hensyn til tid og kostnader.

På samme måte er det raskt å gjøre endringer i fremdriftsplanen når det skjer endringer eller utfordret hendelser underveis i prosjektet. ALICE kan da raskt generere nye fremdriftsplaner basert på den nye inputen. Effektiviseringen av fremdriftsplanlegging er et resultat av at bruk av kunstig intelligens gir mulighet til å automatisere mange oppgaver. Blant annet kan ALICE gjenbruke oppskrifter over de nødvendige oppgavene som må fullføres for å konstruere et element.

Datakraft og kompleksitet

En stor gevinst ved å benytte kunstig intelligens og programmer som ALICE er at det kan løse kompleksitet. Mennesket har begrenset evne til å ta inn over seg store datamengder. Ved tradisjonell fremdriftsplanlegging er mennesket derfor nødt til å forenkle det som i utgangspunktet er veldig komplekst, ved å bryte det ned i noe som enkelt kan visualiseres og forstås. For å systematisere dette benyttes for eksempel taktplanlegging, hvor sonene lages så små at det fås repetisjon og flyt i det.

Datamaskiner har derimot mulighet til å behandle svært store datamengder og ta hånd om mye informasjon på kort tid. Dette gjør at det ikke er det samme behovet for at mønsteret i planen skal være fint, så lenge det er mulig å visualisere og teste ulike sammenhenger mellom de ulike operasjonene. Med korrekt input har også programmer som ALICE oversikt over alle avhengigheter som planen ikke kan gå utenom. Med datakraft som kan ta hånd om all denne informasjonen raskt, kan ALICE løse komplekse prosjektbegrensninger. Kunstig intelligens kan derfor bidra til å løse kompleksitet ved avansert og komplisert produksjonsplanlegging.

4.2.3 Ulemper ved bruk av kunstig intelligens

I dette delkapittelet presenteres fem ulemper eller utfordringer ved bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging.

Konservativ byggebransje

En ulempe som samtlige av intervjuobjektene nevnte omhandler selve implementeringen av kunstig intelligens og verktøy som benytter dette, i byggebransjen. Informanter fra både entreprenører og programvareleverandør fortalte at byggebransjen gjerne ikke er «best i klassen» når det gjelder å bruke digitale verktøy. Utfordringen er med dette at byggebransjen ligger relativt langt bak på digitaliseringsfronten, og ofte blir sett på som treg og lite innovativ når det kommer til implementering av ny teknologi.

Det er flere omstendigheter som gjør at bransjen blir sett på som lite innovativ. Eksempler som ble nevnt av intervjuobjektene er at personer i byggebransjen kan oppleves som bakoverlente, konservative, og lite villige til å endre måten de arbeider på. Noen mente at byggebransjen har et vanskelig miljø for å endre ting, og fremdeles er preget av en tankegang som hindrer forbedringer og innovasjon. Mange i bransjen har heller ikke høy nok IT-kompetanse til å kunne benytte avanserte digitale programmer. I tillegg er byggebransjen preget av lave marginer, som gjør at folk er mindre villig til å bruke penger på innovasjon.

Mangel på tillit til verktøy

En annen ulempe knyttet til implementering er at det for mange vil være vanskelig å stole på fremdriftsplanene som generes av den kunstige intelligensen, uten å nødvendigvis forstå det bakenforliggende. Mange vil nok stille spørsmål ved hvorfor planene som genereres er riktige, hva det er som ligger til grunn for at den pumper ut det den gjør, om den har tatt hensyn til alt som kreves, og så videre.

I tillegg må mennesket overbevises om at et dataprogram kan gi en løsning som er bedre enn det en erfaren fremdriftsplanlegger med mange års erfaring produserer. Mange av intervjuobjektene mente derfor at å overvinne de menneskelige faktorene ville være en av de største utfordringene. Å få folk til å stole på denne typen programmer er ikke noe som skjer med det første prosjektet, og vil kreve at det kan vises til vellykkede resultater.

Begrenset fornuftig forståelse

Flere intervjuobjekter belyste at en ulempe ved bruk av kunstig intelligens er at programmene ikke nødvendigvis tar hensyn til om ting faktisk er praktisk gjennomførbart, og at planene er byggbare. En av informantene påpekte at ALICE har størst verdi dersom programmet får veldig mange små soner å arbeide med. Dersom prosjektet stykkes opp i veldig små biter, klarer ALICE sannsynligvis å gjøre arbeidet kortere i teorien. Spørsmålet er likevel om det lar seg gjennomføre i praksis. Det går en grense der det bikker over for de som skal følge det opp, og hvor enkelt det blir for folk å forholde seg til dette. Derfor er det nødt til å være en balanse mellom teori og praksis.

I tillegg hender det at ALICE kan foreslå å en svært varierende mengde ressurser i løpet av et prosjekt. Programmet kan for eksempel foreslå at prosjektet skal ha tre forskalingssett en uke, for så å ha syv sett uken etter, og fire sett uken etter det igjen. Dette vil ikke lønne seg i virkeligheten, da det i et prosjekt gjerne velges lengre bølger eller rettere linjer. ALICE vil også hele tiden søke etter den raskeste veien. Hvis det skjer endringer underveis i prosjektet, og disse legges inn i ALICE, kan programmet velge å stokke om på alle oppgavene. Dette kan blant annet ha store konsekvenser for bestillinger. En ulempe med KI er dermed mangel på fornuftig forståelse, og at programmene ikke alltid vil gi planer som er hensiktsmessige eller praktisk gjennomførbare.

Krevende bruk

Flere av intervjuobjektene belyste at det ved bruk av kunstig intelligens kan oppleves at læringskurven blir relativt bratt. Videre presiseres det at det så klart innebærer opplæring i nesten hvilken som helst programvare, men at for eksempel programmer som ALICE kan oppleves som ekstra tidkrevende. Det kan også oppleves som tidkrevende å bruke selve programvaren i starten, gjennom arbeidet med å blant annet laste opp BIM, tilegne elementene avhengigheter, lage alle oppskrifter i programvaren, og så videre. Oppskriftene må dessuten koordineres med underleverandører, da det ikke gir mening å planlegge på egenhånd uten å involvere disse og måten de arbeider på. Samarbeid og kommunikasjon med de ulike aktørene kan være tidkrevende.

Manglende funksjoner ved ALICE

I tillegg til generelle ulemper ved bruk av programvare som benytter kunstig intelligens, belyste også intervjuobjektene spesifikke mangler ved programvaren ALICE. Intervjuobjektene har testet programvaren på ulike tidspunkt, og det kan derfor ha skjedd oppdateringer etter at disse manglene ble opplevd. Videre listes syv ulike manglende funksjoner opp, sammen med en kort forklaring:

- Flere støttede filtyper

I dag tar ALICE inn 3D-modeller fra Autodesk Revit og Autodesk Navisworks. ALICE er utviklet i USA, hvor Autodesk sine produkter er svært mye brukt og dominerer markedet. I Norge er det stort fokus på åpne standarder, og at alt skal være kompatibelt med IFC. I USA er ikke IFC like stort enda, og derfor er ikke ALICE kompatibel med denne filtypen. Ulempen med dette er at dersom 3D-modellen ikke er laget i Revit eller Navisworks, må filtypen konverteres til IFC og deretter til et av de støttede filformatene. I denne prosessen kan informasjon fra modellen mistes. Det hadde derfor vært en stor fordel dersom ALICE støttet IFC-filer. Enkelte av intervjuobjektene mente at dette var et stort problem, mens andre mente at dette ikke var det viktigste i denne fasen.

- Økt automatisering

For at det skal lønne seg å ta i bruk programmer som ALICE bør det ta kort tid fra modellen importeres, til en ferdig fremdriftsplan gis ut. Dette betyr at ALICE i stor grad bør kunne automatisere arbeidet som gjøres i programmet. Noen funksjoner automatiseres i dag i ALICE dersom modellen er bygget opp i riktig programvare, altså ved bruk av Revit og Navisworks. En ulempe er likevel at programmet trenger mer automatisering. Et eksempel som ble nevnt av et intervjuobjekt gjaldt grupperingen av elementer. Dersom ALICE selv kunne plukke objekter og hatt mer forståelse for konstruksjonsrekkefølgen, ville det gitt programmet større handlefrihet til å utforske enda flere strategier og rekkefølger enn det gjør i dag. I tillegg ville dette ha spart tid i forhold til selve arbeidet i programmet.

- Import av oppskrifter

Det er mulig å beregne varigheten av aktiviteter i ALICE ved å multiplisere enhetstider med mengden av et bestemt element. Dette må gjøres for hver oppgave som inngår i en oppskrift for hver aktivitet i modellen. Et av intervjuobjektene forteller at enhetstidene de bruker kommer fra et kalkyleprogram, og at det derfor hadde vært en fordel dersom det var mulig å eksportere en XML-fil fra kalkylen, og importere den inn i ALICE. Slik kunne oppskrifter og fremdriftsplanene blitt laget med utgangspunkt i de samme reglene som kalkulatørene bruker.

- Bedre visualisering av planen

Som output fås en fremdriftsplan i form av et Gantt-diagram, sammen med en 4D-visualisering. Flere av intervjuobjektene satte pris på at det i det hele tatt var en automatisk 4D-visning, men presiserte at denne visualiseringen ikke var god nok. Både Gantt-diagrammet og 4D-visningen burde kunne skaleres i større grad og ha flere valg for filtrering, for å enklere velge ut spesifikke deler som det er ønskelig å se nærmere på.

- Rapportering- og oppfølgingssystem

De fleste intervjuobjektene nevnte at det manglet et bedre system for rapportering og oppfølging av prosjektene. ALICE hadde tilsynelatende ingen god løsning på å følge opp produksjonen. Eksempelvis var det ønskelig å kunne rapportere inn hva som var ferdig og hvor mye tid de ulike aktivitetene faktisk brukte. I tillegg var det flere av de som hadde prøvd programmet for en tid tilbake som syntes det var utfordrende å eksportere planene ut fra systemet, og overføre den til noe som de kunne bruke for oppfølging. En av informantene som hadde testet ALICE i nyere tid mente derimot at en fordel med ALICE var at det var mulig å overføre planen til MS Project og bearbeide planen videre her. Dette er altså noe som er mulig i dag, men som fortsatt kan være en utfordring.

- Funksjon for rigg og logistikk

En annen funksjon som manglet med hensyn til input var at det burde kunne tas høyde for rigg og logistikk. Programmet har ingen spesifikk funksjon for riggplass eller hva som ligger på lager. Det er mulig å velge for eksempel uendelig med forskaling som materiale, selv om det egentlig ikke er plass til det på byggeplassen. I tillegg ytret en av informantene et ønske om at programmet burde kunne ta hensyn til bestillinger og når leveranser kommer. Deretter kunne ankomstdato vært en begrensning for når oppgaver kunne starte. Dette hadde også vært en stor fordel med tanke på replanlegging, da forsinkede leveranser kunne blitt hensyntatt.

- Fokus på kritisk linje

Flere av intervjuobjektene belyste at programvaren burde hatt større fokus på den kritiske linjen i fremdriftsplanen. Det kunne bidratt til å skape fokus på aktiviteter i fremdriftsplanen som var kritiske for å få gjennomført planen til oppgitt tid. Blir én av disse aktivitetene forsinket, påvirker det direkte sluttdatoen for prosjektet. Med en tydelig markert kritisk linje ville det vært enklere å forstå hvor det burde settes inn tiltak for å unngå forsinkelser, eksempelvis med å sette inn ekstra bemanning.

4.3 Forutsetninger for bruk av KI

Forutsetningene for at bransjen skal benytte seg av kunstig intelligens og programmer som ALICE i fremtiden, har stor sammenheng med ulempene ved å benytte ALICE sammenlignet med tradisjonell planlegging. Gjennom intervjuene ble det identifisert flere forutsetninger som bør være tilstede for at bransjen skal benytte kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging i fremtiden. Disse forutsetningene ble kategorisert i en rekkefølge som beveger seg fra organisatorisk nivå og ned til prosjektnivå. Tabell 9 viser de ulike kategoriene.

Tabell 9: Oversikt over kartlagte forutsetninger fra intervju

Aktører	Nytteverdi	Teknologi	Prosjekttype	Prosjektteam
Byggherre	Troverdighet og brukervennlighet	BIM	Type prosjekt	Teknologisk forståelse
Prosjekterende	Gode resultater	Data	Kompleksitet	Erfaring med byggeprosess
Entreprenør	Kost-nytte	Standardisert bruk	Prosjektfase	Motivasjon og samarbeid
		Kompatibilitet		

4.3.1 Aktører

Byggherre

Flere av intervjuobjektene trakk frem at det vil være enklere å implementere kunstig intelligens og verktøy som ALICE, dersom det kommer som et krav ovenfra. For eksempel kan byggherre eller kundene i byggebransjen sette krav om at slike verktøy skal brukes. Det ble fortalt om aktører som allerede har begynt å sette strenge krav i sine konkurransegrunnlag, og dermed er med på å pushe grenser i byggebransjen. Ved å sette krav er det ingen vei utenom, og derfor kan dette være en god strategi og en god måte å effektivisere implementeringsprosessen på.

Et slikt handlingsrom ble også observert på Bispevika, hvor byggherren var fremoverlent og ønsket innovasjon i alle ledd. Det ga AF Gruppen rom til å tørre og prøve en programvare som ALICE. Intervjuobjektene fortalte at det ofte er en forutsetning med en ganske fleksibel byggherre for å få implementert nye verktøy eller metoder, ettersom det er der pengene kommer fra. Vanligvis blir det ikke gjort mer enn nødvendig i et prosjekt, for å spare mest mulig penger. Dersom byggherrene i bransjen blir flinkere til å sette krav som støtter innovasjon og implementering av nye verktøy, vil dette være et stort insentiv for at entreprenører skal ta i bruk kunstig intelligens.

Prosjekterende

For at det skal fås ordentlig utbytte av programvarer som ALICE, påpekes det at de prosjekterende bør være ferdig med arbeidet sitt i god tid før produksjonen starter. Flere av informantene belyste utfordringer med at prosjekteringsfasen ligger for tett opp mot produksjonsfasen. Det gjør at de prosjekterende gjerne får for dårlig tid, som ofte resulterer i at ting blir glemt. Feil og mangler må da rettes opp i underveis, også etter at byggene har blitt bygget. Endringer underveis i prosjektet skaper støy, og gjør at de opprinnelige planene ofte ikke kan overholdes og må tilpasses. Da mistes gjerne effekten av å bruke verktøy som ALICE til å optimalisere fremdriften.

En annen utfordring er at et program som ALICE baserer seg på underlaget fra de prosjekterende. 3D-modellen med tilhørende informasjonsgrunnlag brukes som input til programvaren. En informant forteller at slik byggeprosessen foregår i dag, vil prosjekteringen ofte foregå omtrent parallelt med byggingen. Det gjør at 3D-modellene gjerne ikke er oppdaterte eller fullstendige i deler av byggeperioden. Det vil da være vanskeligere å benytte programmer som ALICE, ettersom den er avhengig av grunnlaget fra de prosjekterende for å gi korrekt output.

Entreprenør

Flere norske entreprenører har et organisasjonskart eller hierarki som er relativt flatt, forteller enkelte av informantene. Hos disse entreprenørene får ofte hvert prosjektteam selv bestemme hvordan de ønsker å kjøre sitt prosjekt, og hvilke verktøy de vil bruke. Med tanke på implementering av nye verktøy som ALICE kan dette både være positivt og negativt. På den ene siden er det positivt fordi prosjektene har mulighet og frihet til å teste det de selv ønsker og har lyst til å prøve. Når et prosjekt selv ønsker å teste et verktøy blir det oftere suksess, og de slipper å bli tvunget til å fokusere på verktøy som de ikke har motivasjon for å prøve ut.

Det negative er derimot at det også internt i en bedrift kan være enklere å implementere verktøy dersom det kommer krav fra høyere oppe i organisasjonen. Mange store bedrifter har egne avdelinger som bestemmer at visse programvarer skal testes, og initierer pilotprosjekter. Uten dette til stede er det gjerne nødt til å komme et spesifikt ønske fra et prosjekt for at nye verktøy skal testes. Ytterligere må det gjerne være en suksesshistorie for å få resten av prosjektet eller andre prosjekter til å ville prøve ut slike verktøy. Det kan dermed oppleves som vanskeligere å sette i gang innovasjon dersom det mangler insentiver eller krav for å gjøre dette fra bedriftens ledelse.

4.3.2 Nytteverdi

Troverdighet og brukervennlighet

Et punkt som gikk igjen i de aller fleste intervjuene handlet om utfordringen med å implementere nye verktøy i en bransje som ligger langt bak på digitaliseringsfronten. En av de største utfordringene som ble nevnt var å få folk til å stole på programmene som bruker kunstig intelligens. Det er derfor en forutsetning at programmet gir ut et troverdig resultat for brukeren. Måten resultatet fremvises på er nøkkelen til at folk skal kunne forstå og stole på at programmet gir ut riktig informasjon. Output må derfor presenteres enkelt og på en lett forståelig måte.

En av informantene fra Holte forteller at en programvare aldri kan bli enkel nok, og at de derfor arbeider kontinuerlig med tilgjengelighet og brukervennlighet. Vedkommende mener at god brukervennlighet er en essensiell forutsetning for at bransjen skal være villige til å bruke tid på å sette seg inn i programvaren og ta den i bruk. Programvaren bør derfor heller ikke kreve for mye «datapunching» for å komme frem til et resultat.

Gode resultater

For at bransjen skal ta slike programvarer i bruk må det kunne vises til tidligere gode resultater. Dette ble belyst av både entreprenører og programvareleverandør. Programmet må kunne vise at det fungerer, og folk må ha troen på at det fungerer. Det er ingen poeng for prosjekter å bruke programmer som ALICE dersom de ikke klarer å få en bedre plan enn de får ved tradisjonell planlegging. For å få entreprenører til å stole på det, og i tillegg få dem til å ønske å bruke det, må programvareleverandørene kunne dokumentere vellykkede resultater. Som regel kreves det tidligere suksesshistorier fra andre prosjekter, for at andre skal ønske å ta nye verktøy i bruk. Intervjuobjektene trodde at når dette var på plass, så vil verktøy som ALICE bli implementert og tatt i bruk relativt fort.

Kost-nytte

Mange av intervjuobjektene nevnte var at verktøy som ALICE ofte er kostbare. For at et kostbart program som ALICE skal kunne lønne seg for en entreprenør, er det flere ting som må være til stede. Noen mente at programmet per dags dato ga for lite nytte i forhold til hvor mye innsats som måtte bli gjort, og særlig pris. Blant annet bør det ta kort tid fra modellen lastes opp i ALICE til at det fås ut en ferdig fremdriftsplan. Noen av intervjuobjektene nevnte derfor at programvarer som benytter kunstig intelligens må legge til rette for automatisering og lite manuelt arbeid.

Flere nevnte også at ALICE rett og slett burde ha en litt annen prismodell. En av informantene forteller at denne programvaren ønsker en konsernavtale. Ettersom ALICE er såpass kostbart, mener flere av informantene at det er en forutsetning at produktet kan levere større nytte enn kost for at entreprenører skal ønske å bruke det i fremtiden. Programvarene må kunne vise at det fås markant bedre resultater når det brukes kunstig intelligens enn når det ikke brukes, i form av enten bedre fremdrift, økonomi eller liknende. I utgangspunktet mente de fleste at alle prosjekter har nytte av programvare med KI. Hvorvidt det faktisk lønner seg handler både om hvor kostbart og tilgjengelig det er, og hvilket utbytte et slikt program kan tilby. Likevel ble det sagt at det bare var et tidsspørsmål før bruk av slike verktøy er den gjeldende metoden.

4.3.3 Teknologi

BIM

Flere av verktøyene som bruker kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging, inkludert ALICE, bruker BIM som input. Flere av intervjuobjektene mente at det dessverre er altfor dårlig eller varierende kvalitet på 3D-modellene som blir brukt i prosjekter i dag. Bransjen har heller ikke blitt vant til å si at BIM er det som er styrende. For å bruke ALICE bør blant annet objektene i modellen tagges og deles opp riktig. Dersom dette blir gjort fra starten av, vil det gjøre det resterende arbeidet mye raskere og enklere. Slike ting blir ofte ikke gjort i dag, og derfor kreves det som regel at det legges mer arbeid i 3D-modellene, før det er mulig å benytte programmer som ALICE.

Modellene som lastes opp i ALICE bør heller ikke være for komplekse. Dersom modellen er detaljert ned til stikkontakter og elektriskerrør blir det for krevende for programvaren, som også har en grense for maksimalt antall elementer i modellen. Det lønner seg derfor å bruke en ganske simpel modell, som kun inneholder de nødvendige elementene. Selv om det betyr at modellen ikke trenger å være komplett med alle fag, må det som regel likevel tas en renserunde før modellen settes inn i ALICE, for at programmet skal klare å lese modellen.

Data

Bransjen bruker mye tid på å planlegge hvordan de skal bygge, men bruker veldig lite tid på å samle inn data om hva som faktisk skjedde. Entreprenører har ofte erfaringstall som brukes i kalkylene, og en struktur for poster og element-ID. Denne strukturen brukes som oftest ikke ute i prosjektet. Informantene antydte videre at det generelt er lite strukturert oppsamlet data i bransjen i Norge i dag, og at det er få som faktisk logger timeverk på det som faktisk skjer ute på byggeplassen. Det er altså stor mangel og dårlig kvalitet på mye av dataen som bransjen sitter på i dag. Denne type data om det som faktisk skjer på byggeplassen er ofte kritisk informasjon for å kunne ta i bruk programvarer som benytter deep learning-teknikker i fremtiden. Disse maskinene krever også enorme mengder data.

Flere av entreprenørene nevner likevel at de har startet å lage systemer der det samles opp data, og at de har begynt å sette fokus på det å strukturere og standardisere informasjon. Disse systemene bygges gjerne opp både med ny og gammel data. Denne dataen kan brukes til å overføre erfaringer og kunnskap mellom prosjekt, slik at det er mulig å lære av det som har skjedd i tidligere prosjekter og dermed forbedre planlegging i bedriften. Denne oppsamlede dataen er også hos noen bygget for å i fremtiden kunne brukes med hensyn til kunstig intelligens. Med data fra virkelig prosjektgjennomføring ønsker entreprenørene å kunne bli bedre på planlegging. Til tross for at noen entreprenører har startet å lage disse systemene, er det fortsatt mangel på en samlet strategi for å samle inn og strukturere data som kan brukes med hensyn til kunstig intelligens og maskinlæring.

Standardisert bruk

En annen forutsetning er at bedriftene bør standardisere dataen som brukes i programmene. Det ble blant annet nevnt at dersom entreprenører skal benytte programmer som ALICE, er det viktig at det jobbes med å standardisere oppskriftene som lages over byggerekkefølger og aktiviteter. Dersom oppskriftene må bygges fra bunnen av hver gang, vil dette forsinke implementeringen av programvaren i hvert prosjekt. Hvis de ulike funksjonene og malene i ALICE standardiseres, vil bedriften kunne ta programmet i bruk mye raskere. I tillegg vil dette sikre at bedriften jobber på samme måte, for å videre kunne utføre målinger og «benchmark» prosjekter. Standardisering av måten bedriften bruker den kunstige intelligensen på må altså ligge til rette fra bedriften sin side, for at det skal lønne seg å bruke programmer som ALICE.

Kompatibilitet

Flere intervjuobjekter nevnte at en eventuell programvare som bruker kunstig intelligens må kunne snakke med andre verktøy for at det skal være verdt for entreprenører å benytte programmet. Som nevnt under ulemper var det flere som mente at det var utfordrende å eksportere planer ut fra ALICE, og overføre de til et program som kunne brukes for oppfølging. Programvaren bør også kunne kobles ordentlig opp mot bestilling av materialleveranser og byggeplasslogistikk. Det ville resultert i et mer helhetlig planleggingsverktøy, som ofte kan være en forutsetning for flere entreprenører. Videre ønsket enkelte at programvaren skulle kunne koble fremdriftsplanleggingen opp mot de datainnsamlingsverktøyene som finnes på byggeplassen. Programvarer som snakker sammen skaper kompatibilitet.

4.3.4 Prosjekttype

Type prosjekt

Intervjuobjektene ble spurt om hvilken karakteristika som måtte være til stede for at det skulle lønne seg å bruke kunstig intelligens i et prosjekt. Først og fremst indikerte svarene at et program som ALICE vil ha en fordel og fungere best på helt nye prosjekter, der det kan startes fra bunnen av. De fleste hadde altså størst tro på nybygg, da det i rehabiliteringsprosjekter forekommer enda flere uforutsette aktiviteter. Under riving avdekkes ofte mange uforutsette ting som det ikke er tatt høyde for, slik at det er vanskeligere å lage forutsetninger i programvaren. Det er godt mulig at det hadde blitt bedre resultater ved å utforske flere strategier også i denne type prosjekter, men det er generelt en stor utfordring med rehabilitering fordi mye av det som skal gjøres er skjult i starten.

Kompleksitet

Flere av informantene ga uttrykk for at det med høy kompleksitet i prosjektet vil kunne oppnås større utbytte av kunstig intelligens. Økt kompleksitet fører ofte med seg flere aktører som skal koordineres og flere mulige kombinasjoner i forhold til rekkefølger. I ALICE deles for eksempel 3D-modellen opp i soner. Disse sonene gir ALICE spillerom til å kunne utforske flere strategier eller angrepspunkter. Dess flere angrepspunkter tilgjengelig, desto mer kan KI eller de store datamengdene hjelpe med å finne alternativer. Dersom prosjektet deles opp i veldig mange små deler, så har programvaren altså større spillerom og handlingsfrihet. Det er likevel ikke sikkert at det er hensiktsmessig, og det er der behovet for kompetansen til erfarne fagpersoner kommer inn. Det må altså være mulighet til å sette praktiske begrensninger inn i modellen.

Et eksempel på at ALICE fungerer best med så mange angrepspunkter som mulig, er at flere opplevde det som vanskelig å optimalisere råbyggsfasen. I en råbyggsfase er det blant annet fysiske lover og kraner som begrenser, og dermed er det gjerne ikke så mye å hente i forhold til effektivisering av byggingen. I tillegg er det for få underleverandører og for få operasjoner til å kunne utnytte kraften til ALICE fullt ut. Dette resulterer i lite variasjon i dataen ALICE gir ut, og mennesket vil kunne se mange av de mulige kombinasjonene selv. Derfor opplevde informantene

at det kunne dras større nytte av den kunstige intelligensen ved for eksempel innvendige arbeider. Til tross for dette trodde de fleste at KI ville ha en positiv effekt på alle typer prosjekter, også mindre. Det kan imidlertid være lettere å vise effekten på mer komplekse og avanserte prosjekter.

Prosjektfase

Som nevnt tidligere mente flere at prosjekteringen ligger altfor tett på produksjonen. Flere mente derfor at et program som ALICE vil kunne fungere best i anbudsfasen eller som et tidligfase-verktøy. En fordel med å benytte ALICE i anbudsfasen er at det gir mulighet til å se mange ulike kombinasjoner, og at det er mulig å raskt analysere ulike alternativer med tanke på kostnad og fremdrift. I tillegg nevnte noen av informantene at de har mye bedre standardisering av data for bruk i anbud enn i selve prosjektene. I kalkyleprogrammer finnes blant annet oversikt over priser, mengder, ressursbehov og liknende. Det er derfor lagt bedre til rette for at denne informasjonen skal kunne kobles opp mot et program som benytter kunstig intelligens.

I tillegg nevnte flere av intervjuobjektene at de slet med funksjonaliteten ved blant annet rapportering av status for prosjektet. ALICE var derfor ikke et velegnet program å benytte til oppfølging, selv om det nå er mulig å overføre planene til andre programmer. Dersom det skjer endringer underveis i prosjektet og disse endringene plottes inn i programmet, kan ALICE velge å generere helt nye planer med helt nye rekkefølger. Programmet kan for eksempel fremskynde aktiviteter som krever bruk av materialer og utstyr med lang leveringstid. Det vil si at programmet ikke tar hensyn til den originale planen og dens begrensninger, men i stedet for kan omrokere på alt. Dette vil ikke være optimalt dersom det skal lønne seg å bruke programmet i gjennomføringsfasen, og det ble derfor av flere av intervjuobjektene ansett som bedre egnet for anbudsfasen.

4.3.5 Prosjektteam

Teknologisk forståelse

Programvarer som ALICE er som regel avhengig av personer med teknologisk kunnskap for å kunne sette det opp og for å bruke det riktig. ALICE krever at brukeren har noe modellforståelse og datakunnskap, og gjerne er analytisk anlagt for å ha interesse og vilje til å hele tiden grave og teste ut de forskjellige funksjonene til programmet. Selv om programmet krever noe teknologisk forståelse, mente de fleste av intervjuobjektene at ALICE var et intuitivt og enkelt program å bruke.

I tillegg tilbyr ALICE opplæring som inkluderer at de sender egne konsulenter for å sitte sammen med prosjektteamet og gå gjennom hele prosessen fra 3D-modell til fremdriftsplan. Opplæring er nødvendig for å kunne utnytte programmet fullt ut, da det finnes en del logikker og «workarounds» som gir flere muligheter i programmet. Ettersom programmet er intuitivt og det i tillegg tilbys opplæring, mente flere av intervjuobjektene at de fleste vil kunne bruke programmet. Det er likevel en forutsetning at prosjektteamet innehar teknologisk forståelse og velvilje for å kunne benytte programmer som bruker KI.

Erfaring med byggeprosess

Ved siden av datakunnskap ble det nevnt at prosjektteamet må ha med noen som har kompetanse på bygging, rekkefølger og varigheter. Prosjektteamet må altså ha med noen som er åpne for å se på denne typen programmer, og som samtidig har erfaring med fremdriftsplanlegging fra tidligere. Selv om ALICE skal automatisere mye av planleggingsprosessen, må fortsatt prosjektteamet ha med seg noen som kan planlegge for å lage eller sette regler i programmet. I tillegg må prosjektteamet ha forståelse for prosessene på byggeplassen for å kunne analysere de ulike fremdriftsplanene som ALICE gir ut.

Motivasjon og samarbeid

En annen forutsetning som må være tilstede for å kunne implementere et verktøy som ALICE handler om å ha et motivert prosjektteam, som har tid og kapasitet til å følge opp implementering på en god måte i prosjektene. De fleste intervjuobjektene nevnte at prosjektteamet er nødt til å bestå av mennesker som alle er motiverte for å skulle ta det i bruk, og som føler eierskap til sin del av prosjektet. Videre mente enkelte informanter at det er nødvendig å ha et team som jobber godt sammen fra før av, for å klare å implementere et program som ALICE. Det er viktig med riktig teamsammensetning, med folk som gjerne har jobbet noen år sammen før. Prosjektteamet er videre nødt til å ha godt samarbeid på tvers av prosjektet, også med de aktuelle underentreprenørene. Med et godt team skapes et godt grunnlag for å kunne implementere noe nytt.

5 Resultat fra casestudie

Dette kapitlet presenterer resultater fra casestudien. Kapitlet er delt inn etter de tre forskningsspørsmålene, for å enklere kunne sammenligne resultatene i diskusjonskapitlet. De påfølgende delkapitlene består av følgende:

5.1 tar for seg resultatene knyttet til det første forskningsspørsmålet. Første del presenterer nøkkelinfo om prosjektet som ble brukt som case. Deretter tar den andre delen for seg selve bruken av programvaren gjennom caseoppgaven.

5.2 redegjør for resultater knyttet til det andre forskningsspørsmålet. Først blir planene som er generert ved hjelp av ALICE sammenlignet med tradisjonelt planlagt plan og faktisk fremdrift. Deretter blir fordeler og ulemper som opplevdes ved gjennomføring av casestudien belyst.

5.3 omhandler det siste forskningsspørsmålet og tar for seg forutsetninger for bruk av kunstig intelligens i fremtiden. Dette ble kartlagt ved bruk av programvaren ALICE gjennom casestudien.

5.1 Bruk av KI i fremdriftsplanlegging

5.1.1 Prosjekt NærByen

NærByen senter består av 154 leiligheter, butikker og parkeringsanlegg ved Lerkendal sentralt i Trondheim. Oppdragsgiver er Sorgenfri Utbyggingsselskap som er eid 50/50 av Frost Holding og Veidekke Eiendom (Veidekke, 2018). Kontrakten er en totalentreprise verdt 308,6 millioner kroner ekskl. merverdiavgift. Veidekke skal bygge åtte blokker på tre til åtte etasjer. I tillegg skal det bygges 2900 m² næringsarealer som skal inneholde en Kiwi dagligvarebutikk og 3-4 mindre butikker. Videre skal NærByen ha et parkeringsanlegg med 204 innvendige parkeringsplasser. En illustrasjon av NærByen vises i Figur 20.



Figur 20: Illustrasjon av NærByen på kveldstid (Veidekke, 2020).

Byggestart for prosjektet var 1. februar 2018, og prosjektet var planlagt ferdig 30. april 2020. En oversikt over de åtte blokkene kan sees i Figur 21. Mot øst er det tre 3-etasjes lavblokker med tre som bæresystem, bygg E, F og G. De resterende fem blokkene har betong som bæresystem. Disse blokkene består av en 4-etasjes basebygning langs veien i vest, med tre østvendte lamellblokker opp til 8 etasjer. Selve caseoppgaven ble gjennomført med kun en av de åtte blokkene. Det ble valgt å se på en høyblokkene med betong som bæresystem. Høyblokk D ble valgt da dette var det siste bygget som ble satt opp. Dette ga bedre muligheter for å kunne sammenligne med faktisk fremdrift, da detaljer fra byggeprosessen sitter friskere i minnet.



Figur 21: Oversikt over NærByen (Nærbyen, 2020)

5.1.2 Gjennomføring av casestudien

I dette delkapittelet forklares det hvordan programvaren ALICE ble brukt i casestudien. Videre beskrivelse av hvordan caseoppgaven ble gjennomført er ikke en oppskrift for beste praksis, men en forklaring på hvordan det ble valgt å gå frem i denne casestudien. ALICE har mange funksjoner, og det er mulig å løse mange problemstillinger gitt at bruker har nok kompetanse i programvaren. Det er derfor videre kun valgt å forklare hva som ble gjort i ALICE i forbindelse med selve caseoppgaven.

Selve bruken av programvaren ALICE kan deles inn i tre hoveddeler:

1. Construction Information Modeling (CIM)
 - a. Modellforberedelse
 - b. Filformat
 - c. Opplasting

2. Planlegging
 - a. «Grouping elements»
 - b. «Supports»
 - c. «Project resources»
 - d. «Recipes»
3. Utforsking og analysering
 - a. Generering og utforsking av planer
 - b. Analyse av planer

1. Construction Information Modeling (CIM)

Modellforberedelse

ALICE baserer seg på en 3D-modell eller BIM som input, og det første steget er derfor å gjøre modellen klar for opplasting i programvaren. En BIM omfatter vanligvis for mye informasjon for å brukes i ALICE, da disse modellene ofte inkluderer detaljer som ikke gir noe verdi til fremdriftsplanleggingen. Som regel er det drivende aspektet av selve byggingen knyttet til de fysiske konstruksjonselementene som skal bygges, det vil si søyler, dekker, vegger, og så videre. Derfor har begrepet Construction Information Model (CIM) dukket opp (Alice Technologies, 2020).

I forbindelse med bruk av programvaren ALICE kan en god CIM sees på som en "renere" eller mer forenklet versjon av en BIM. BIM tar sikte på å representere flest mulig geometriske og funksjonelle attributter, samt å fange opp all informasjon relatert til bygningen som materialer, oppbygging, spesifikasjoner og lignende. Tanken med CIM er derimot at bygningen og dens elementer digitalt representeres, slik det vil være konstruert i det virkelige liv. For en god CIM vil informasjonen altså være vellykket representert ved ganske enkelt å designe helt enkle elementer, uten nødvendigvis å inkludere designdetaljene til en BIM (Prajapati, 2020).

For å benytte ALICE må det derfor lages en CIM, og videre gjøres forberedelser i modellen før opplasting. For å lage en CIM anbefales det i utgangspunktet å gå gjennom en opplæring sammen med ALICE. Det finnes imidlertid instruksjonsvideoer og retningslinjer fra ALICE som ble benyttet i forbindelse med denne casestudien. Generelt bør det forsøkes å oppnå en modell med filstørrelse på mindre enn 200 MB og med færre enn 5000 elementer (Alice Technologies, 2020).

For å unngå å overbelaste CIM-en med unødvendige detaljer, må bygningsinformasjonsmodellen først ryddes og renses for overflødige elementer og kategorier. I ALICE kan de nødvendige elementene i de fleste tilfeller kategoriseres som armerte betongelementer, stålelementer, trapper, vegger, vinduer og generiske elementer (masser). Det er anbefalt å fjerne alle 2D- og detaljelementer.

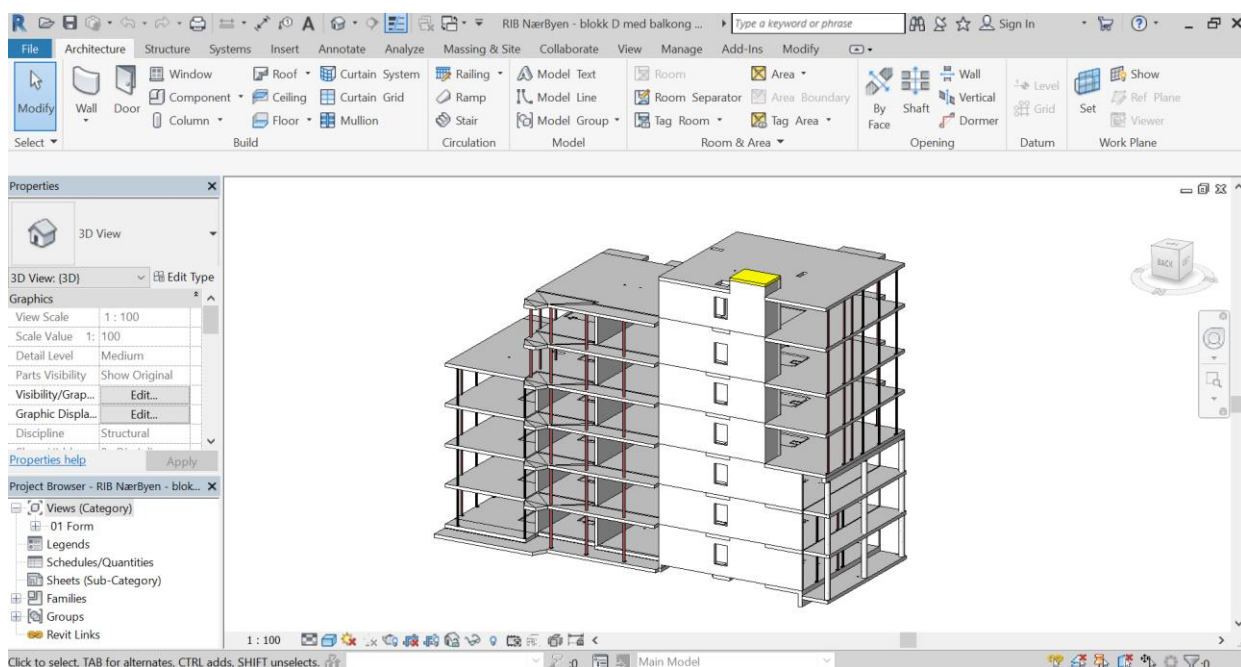
I casestudien ble det valgt å kun benytte RIB-modellen som utgangspunkt, for å unngå at modellen inneholdt for mange overflødige elementer. Ettersom caseoppgaven skulle gjennomføres med kun ett av byggene måtte modellen først deles opp. Den originale RIB-modellen for hele prosjektet var

laget i Autodesk Revit. Derfor ble modellen også bearbejdet i dette programmet. Alle elementer som ikke tilhørte bygg D ble fjernet, i tillegg til parkeringskjeller og næringsarealet i underetasjen.

Videre inneholdt ikke RIB-modellen balkonger. Derfor ble det valgt å modellere disse inn selv. Disse ble kun modellert med én meter utstikk og ikke i korrekt størrelse, ettersom det kun var nødvendig for oppgaven å ha et fysisk element som representerte balkongene. Geometri og størrelse var ikke avgjørende, da balkongene var prefabrikkerte og geometri ikke ville gi utslag på hverken fremdrift eller kostnad.

Neste steg var å splitte alle elementene etasjevis. Å dele elementene etter nivåer er viktig for å kunne gjenskape hvordan elementene vil konstrueres i virkeligheten. I tillegg må elementene tilordnes til riktig nivå eller etasje. Dette vil gjøre arbeidet med modellen inne i ALICE lettere. Deretter bør horisontale elementer deles opp i henhold til den eventuelle soneinndelingen av prosjektet. Alle elementene i modellen for NærByen var splittet etasjevis og tilordnet en etasje fra før. Det ble også vurdert at horisontale elementer var tilstrekkelig oppdelt, og at det ikke var hensiktsmessig å dele opp bygget i soner. Det ble derfor ikke gjort noen justeringer.

Deretter måtte modellen ryddes opp i og renses for unødvendig informasjon. Først ble det laget et eget 3D-view for ALICE, som kun inneholdt de nødvendige elementene. Det vil si betongelementer, stålelementer og noen generiske elementer. Deretter ble alle andre «views», «legends», «schedules», «sheets» og linkede filer slettet i Revit. I tillegg ble alle grupper løst opp, og modellen ble rensset for alle ubrukte familier og kategorier. På den måten ble en kun sittende igjen med selve 3D-modellen som skulle brukes videre i ALICE. Dermed ble modellen vesentlig mindre omfattende, og mer egnet for opplastning i ALICE. Den ferdig bearbejdede modellen i Revit er vist i Figur 22.

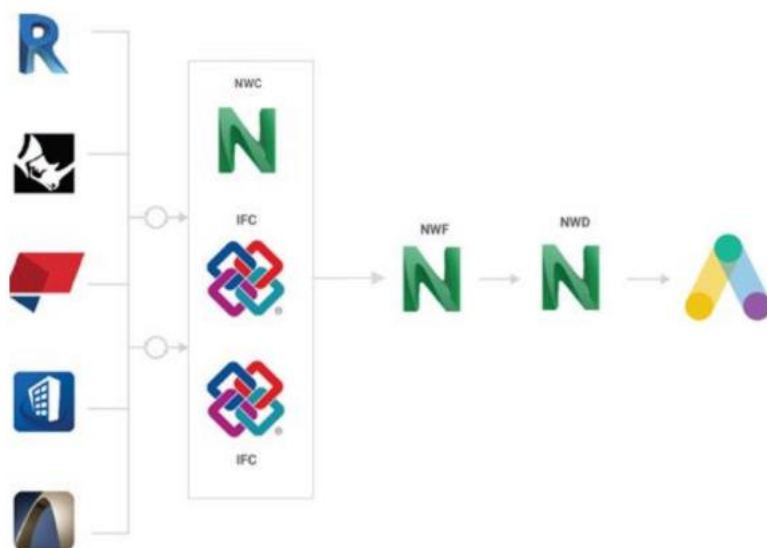


Figur 22: Skjermtutklipp av BIM fra NærByen i Revit

Filformat

NWC/NWD og RVT er de eneste kompatible filformatene som kan importere 3D-modeller til ALICE. Det vil si at ALICE kun støtter filtyper fra enten Autodesk Navisworks eller Autodesk Revit. Dersom modellen ikke er laget i Revit eller Navisworks, må den konverteres gjennom IFC til en av formatene ovenfor. Arbeidsflyten som går via IFC er ikke optimal da modellen kan miste noe av sin parametrik og data når den eksporteres til IFC-format (Autodesk, 2018). I noen tilfeller kan imidlertid en importert IFC-modell være et godt grunnlag for videre planlegging.

Det anbefales uavhengig av utgangspunkt og BIM-plattform å ta modellen gjennom Navisworks, da det kan lages forskjellige visninger eller kategorier som gjør det enklere å ta inn nye endringer i modellen som brukes i ALICE. Figur 23 nedenfor viser en arbeidsflyt som vil fungere for flere ulike BIM-plattformer.



Figur 23: Generell arbeidsflyt fra BIM-plattform til ALICE (Alice Technologies, 2020)

Modellen som ble benyttet i caseprosjektet var i utgangspunktet laget i Revit. Det var noe problemer ved opplasting av RVT-filen til ALICE. Derfor ble det valgt å følge den anbefalte arbeidsflyten ved å eksportere modellen fra Revit som en NWC-fil. Deretter ble modellen lagret i Navisworks som en NWF-fil, og videre ble denne lagret som en NWD-fil.

Opplasting

Etter at modellen er tilstrekkelig ryddet og konvertert til riktig filtype kan den lastes opp i ALICE. Dette gjøres ved å opprette et nytt prosjekt i ALICE som vist i Figur 24. Deretter kan det lastes opp Revit- eller Navisworksfiler direkte til programmet. Dersom det underveis i et prosjekt er ønskelig å laste opp en ny modell, kan dette gjøres ved å lage en ny plan i prosjektet.

New Project
Upload a model to create an ALICE Project.

Don't forget to invite people to your project!

Create New Project

Project Name * NærByen Units * Imperial Metric Currency * NOK **Upload & Create Project**

Description Caseoppgave, RIB-modell blokk D

Project Start * 22-Jan-2019 3D Model * RIB NærByen - blokk D.nwd Choose

Invite Emails or Names (you can only invite users from your organization) Start typing... Access Level Full

Figur 24: Opplasting i ALICE

2. Planlegging

«Grouping elements»

Etter at modellen er lastet opp i ALICE er det klart for å begynne planleggingen i ALICE. Et av stegene som må gjøres er å gruppere elementene. Funksjonen «grouping elements» lar deg velge flere elementer og gruppere dem sammen. Dette lar deg lage tilpassede konstruksjonselementer uten å måtte være avhengig av designet.

ALICE behandler en gruppe som ett enkeltlement. Dette betyr at når det opprettes en gruppe og det for eksempel tilordnes en såkalt «recipe» til den, vil hele gruppen av elementer bli planlagt basert på informasjonen i den oppskriften. «Recipes» er nærmere beskrevet senere i et eget avsnitt. Som et eksempel betyr dette at det enten er mulig å tilordne én oppskrift per fundamentelement, eller gruppere alle fundamentelementer i en gruppe som bruker samme oppskrift.

I caseoppgaven ble det valgt å gruppere elementer i samme kategori og etasje. Elementene som ble gruppert sammen var:

- Betongdekker
- Betongvegger
- Betongsøyler
- Stålelementer (søyler og bjelker)
- Balkonger
- Badekabiner
- Trappeneser (representerer trapp)

Det vil si at alle dekkene i 1. etasje ble gruppert sammen til én gruppe, og dekkene i 2. etasje ble gruppert sammen til én gruppe. Et eksempel på gruppering av elementer i 2. etasje er vist i Figur 25. Når modellen ble lastet opp i ALICE inneholdt den 379 ulike elementer. Etter grupperingen bestod den kun av 46 elementer. På denne måten var det enklere å håndtere modellen i ALICE og sørge for at byggerekkefølgen ble korrekt, og at alle elementene ble tildelt riktig oppskrift.



Figur 25: Gruppering av stål i 3. etasje

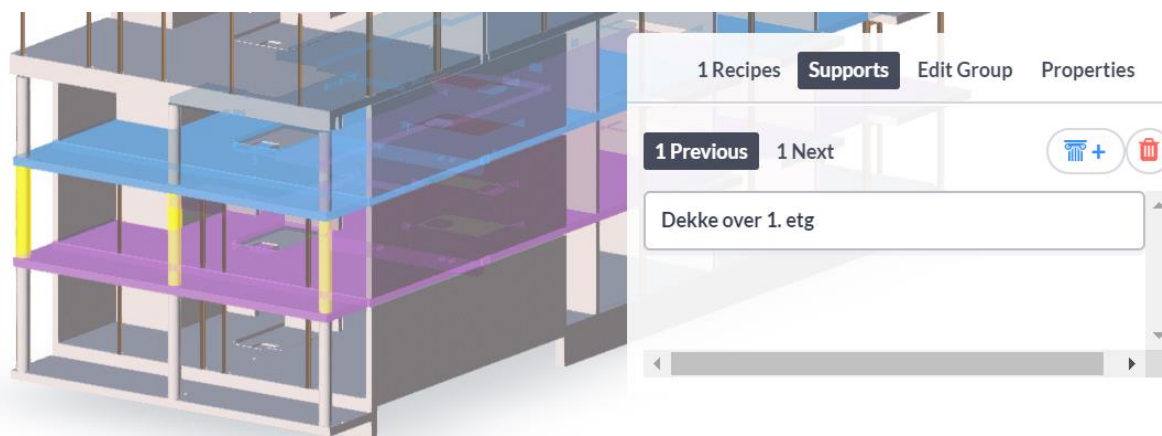
«Supports»

Det neste steget som ble gjort i ALICE var å sette opp «supports». «Supports» lar deg definere en konstruksjonssekvens i ALICE. Ved å legge til «supports» kan det tilordnes rekkefølger og avhengigheter mellom grupper eller elementer. Altså defineres rekkefølgen på hva som skal bygges etter hverandre, eller hva som må bygges før noe annet kan bygges. Dette kan brukes til å lage en ønsket byggesekvens eller arbeidsflyt. Et eksempel på dette er at søylene eller veggene i en etasje må fungere som «supports» for dekket i etasjen over. Dekket kan da ikke bygges før veggene og søylene er konstruert.

Dersom 3D-modellen er bygget i Revit eller Navisworks vil denne logikken i utgangspunktet settes opp automatisk av ALICE, men den kan fjernes eller redigeres for å tilpasse ønsket bygge- rekkefølge eller strategi. Dersom 3D-modellen er bygget i andre programmer og er konvertert til riktig format gjennom IFC, må «supports» settes opp manuelt.

Ettersom modellen i caseoppgaven var laget i Revit ble de fleste elementene tilegnet «supports» automatisk. Automatiseringen av dette arbeidet var derimot ikke feilfri. Noen elementer manglet «supports», eller hadde fått tildelt «supports» som ikke var logiske eller korrekte. Dette måtte også tilpasses måten det ble valgt å bygge opp de ulike oppskriftene kalt «recipes». Alle «supports» måtte derfor gjennomgå og justeres. Dette ble gjort ved at hvert element eller hver gruppe med elementer ble kontrollert, og eventuelt tildelt manuelle «supports» ved behov.

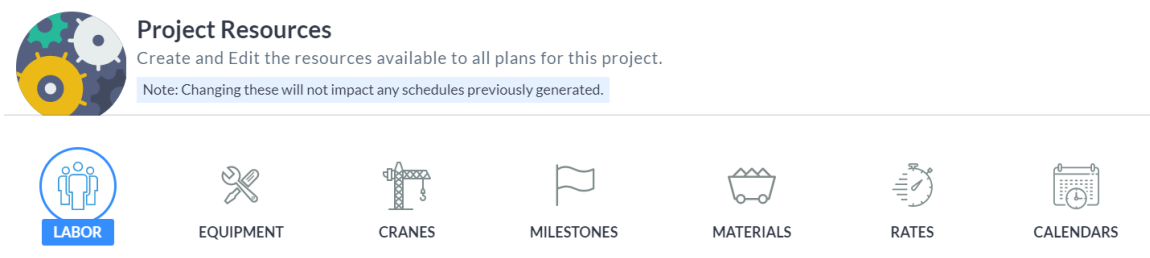
Figur 26 viser et eksempel på hvordan betongsøylene i 2. etasje (markert med gul) er avhengig av at dekket over 1. etasje er ferdig bygget (markert med lilla). Videre må disse søylene konstrueres før dekket over 2. etasje kan bygges (markert med blå).



Figur 26: "Supports" i ALICE

«Project resources»

Prosjekttressursene viser de tilgjengelige ressursene som er mulig å legge til i ALICE. Dette inkluderer arbeidskraft, utstyr, kraner, milepæler, materialer, produksjonsrater og kalendere, som vist i Figur 27. Under eksempelvis «labor», som er arbeidskraft, er det mulig å legge til under-entreprenører og arbeidslag. Her kan det sies noe om antall tilgjengelige personer i hvert lag, samt timekostnad per person. Den arbeidskraften som settes opp under prosjekttressurser kan deretter tildeles til de ulike oppgavene i en «recipe» som omtales nedenfor.



Figur 27: Prosjekttressurser i ALICE

Tildeling av arbeidskraft til en oppgave sikrer at ALICE kan kontrollere om denne ressursen er tilgjengelig, for å videre kunne planlegge denne oppgaven og fullføre arbeidet. Det samme gjelder for de andre prosjekttressursene. Disse legges til slik at ALICE kan sikre at ressursene er tilgjengelig, og samtidig hjelpe med å vise hvordan en styrer disse ressursene mer effektivt gjennom byggeprosessen.

Prosjekttressursene i caseoppgaven ble lagt inn sammen med en representant fra NærByen. Dette ble gjort for å ha best mulig forutsetninger for sammenligning mot det faktiske prosjektet. Det ble kun valgt å legge inn arbeidskraft, kran, materialer og kalendere. En fullstendig oversikt over alle prosjekttressursene er inkludert i Vedlegg E.1. For arbeidskraft ble det lagt inn åtte ulike lag med et gitt antall tilgjengelige personer per lag. Eksempel vises i Figur 28. Videre ble det valgt å kun legge til timekostnad for egenproduksjon av betong, i samråd med representanten fra NærByen.

Dette fordi det i hovedsak skulle fokuseres på fremdrift. Kostnader for egenproduksjon ble likevel inkludert for å kunne gjøre en ekstra verifikasjon av at resultatene fra ALICE.

8 Crews with Unassigned Subcontractors

Crew	# Available	kr / Hr	Calendar
Badekabiner	2	0	Felleskalender m/ helligdager
Betongdekke	6	315	Felleskalender m/ helligdager
Betongvegg	5	315	Felleskalender m/ helligdager

Figur 28: Arbeidslag i ALICE

Timekostnaden for egne ansatte ble satt til 315,- NOK, noe som er lavere enn det en fagarbeider vil koste i realiteten. Dette ble gjort for å ta høyde for at andre ytelser som for eksempel arbeidsgiveravgift for egenproduksjon, legges i en annen post i kalkylen. For å ha korrekt sammenligningsgrunnlag mot den kostnaden som ble hentet ut fra kalkylen, ble derfor timekostnaden redusert. Videre ble det lagt til en kran med radius på 70 meter.

For materialer ble det først tatt utgangspunkt i testprosjektet gjennomført av Veidekke. Det ble kun lagt inn materialer som var nødvendig for egenproduksjon av betong, da bruk av materialer i ALICE tilsynelatende kun påvirker kostnaden. Materialer ble supplert og justert med hjelp av representanten fra prosjektet. Kostnader for de ulike materialene ble også kontrollert gjennom korrespondanse med leverandører som PERI, Ølen Betong og Smith Stål. Alle kostnader er kun grove estimater, da fokuset i stor grad var på fremdrift og ikke kostnad. Totalt ble det lagt inn seks ulike materialer, samt enhetspris for disse. Eksempel vises i Figur 29.

6 Materials

Material	Type	Qty Avail.	/ Unit
Armering	Consumable	∞	7.5
Betong	Consumable	∞	1300
Forskaling papp søyle	Consumable	∞	345

Figur 29: Materialvalg i ALICE

For kalender ble det tatt utgangspunkt i en standard 40-timers arbeidsuke. I tillegg ble alle helligdager manuelt lagt inn i denne kalenderen. Videre ble det laget en egen kalender for nattearbeid fra klokken 15.00-23.00, som gjorde det mulig å sette herding av betong over natten som en egen oppgave. De to kalenderne som ble brukt vises i Figur 30.

2 Calendars

Name	Used by Crews	Used by Plans	Workweeks Used			
Felleskalender m/ helligdager	7	2	2	Copy	Edit	Delete
Herding (nattearbeid)	1	2	1	Copy	Edit	Delete

Figur 30: Kalendere i ALICE

«Recipes»

Det neste steget er å lage såkalte «recipes» eller oppskrifter. «Recipes» er konstruksjonsmetode-modeller, eller Construction Method Models (CMM), hvor aktivitetene er illustrert som bokser i et AON-nettverksdiagram der de nødvendige avhengighetene er definert.

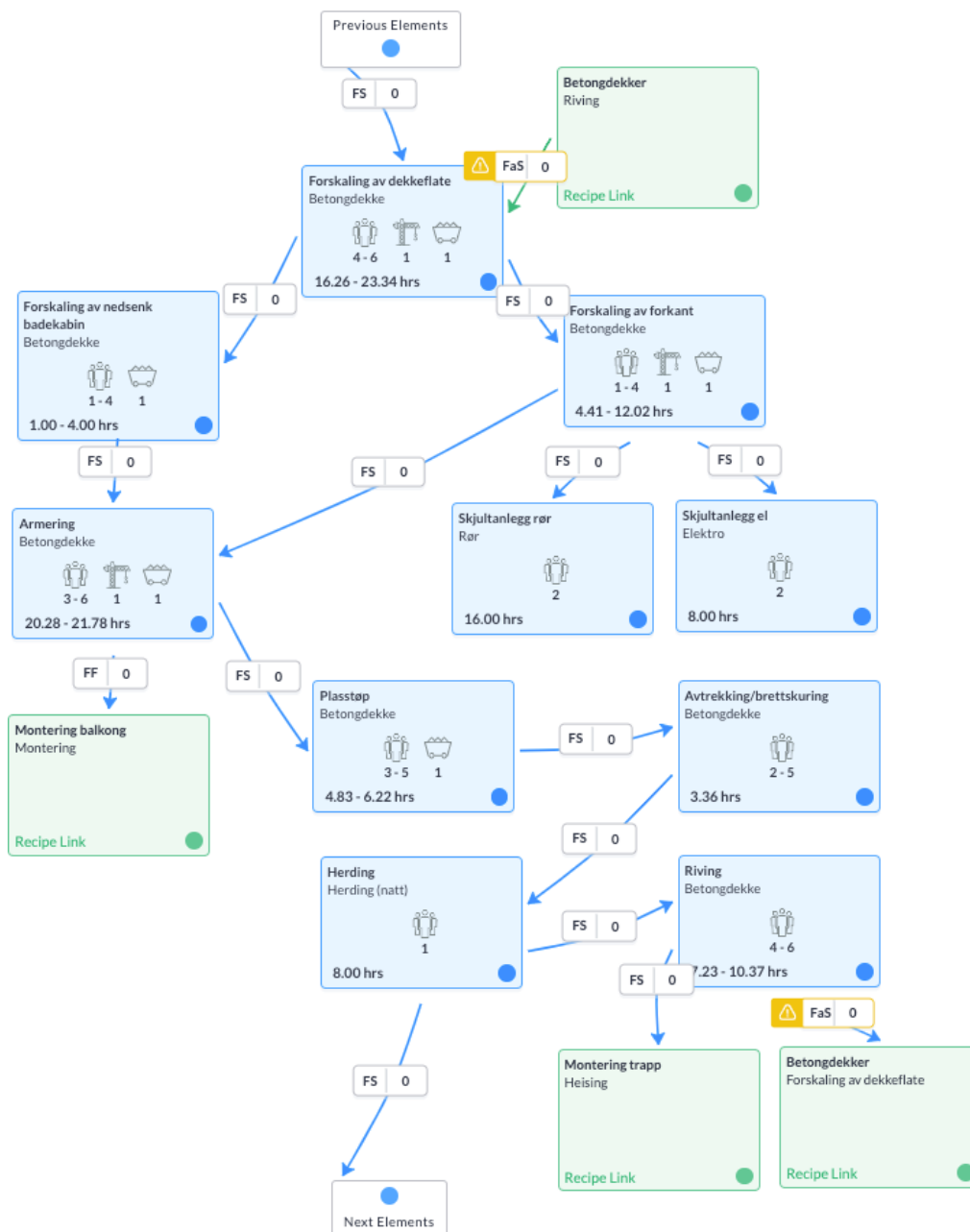
«Recipes» inneholder de oppgavene som det kreves for å fullføre et gitt omfang av arbeid. Det vil si de nødvendige oppgavene for å konstruere et element eller en gruppe av elementer. Hver oppgave i oppskriften inneholder informasjon om ressursene som kreves for å fullføre oppgaven. Dette gjelder både arbeidskraft, utstyr, kraner, materialer, rater og varighet. Videre bestemmes rekkefølge eller avhengigheter mellom oppgavene. Dette gjøres ved å bruke piler og «precedence relationships» som for eksempel finish-to-start «FS», start-to-start «SS» og finish-at-finish «FaF». De ulike «recipesene» må deretter tilordnes hvert enkelt element eller gruppe av elementer.

«Recipes» i caseoppgaven ble først laget med bakgrunn i «recipes» som Veidekke laget under egen testing av programmet. Disse «recipesene» er laget basert på erfaringstall som brukes ved kalkulasjon av bygg i anbudsfasen. I forbindelse med denne caseoppgaven ble det gitt tilgang til testprosjektet til Veidekke. Videre ble både disse og nye «recipes» tilpasset prosjektet NærByen sammen med en driftsleder fra prosjektet. Det ble totalt laget «recipes» for åtte ulike typer elementer. Dette var:

- Betongdekker
- Betongsøyler
- Betongvegger
- Montering badekabin
- Montering balkong
- Montering stål

- Montering trapp
- Topp heissjakt

Et eksempel på en «recipe» er vist i Figur 31. Figuren viser alle oppgavene som må fullføres for å konstruere et betongdekke. Det vil si oppgaver som å sette opp forskaling, armering og støping. For hver oppgave i hver «recipe» ble det valgt å legge til nødvendig arbeidskraft og materialer, krav til kran, og formuler for varighet. Resten av ressursparameterne ble ikke tatt hensyn til. For at hver «recipe» skulle være parametrisk for å kunne tilpasses størrelsen på de ulike elementene, ble det angitt formuler for å regne ut nødvendig materiale og varighet.



Figur 31: "Recipe" for betongdekke

Videre er det også mulig å linke ulike oppskrifter til hverandre ved hjelp av eksterne referanser. I korthet tillater eksterne referanser at det kan lages en spesiell kobling mellom to oppskrifter som gjør det mulig å hoppe fra en oppskrift til en annen, før den første er fullført. De grønne boksene i Figur 31 er eksterne referanser til andre oppskrifter. Denne funksjonen gjør at det kan kodes enkelte scenarier, som at betongdekket i etasjen under rives før forskalingen i det aktuelle dekket kan settes opp.

En fullstendig oversikt over alle recipes med tilhørende prosjektressurser finnes i Vedlegg E.2. Et utdrag fra vedlegget kan sees i Figur 32. Figuren viser innholdet i oppskriften til betongdekke. Her er alle oppgavene listet, samt nødvendig arbeidskraft, krav til kran, nødvendige materialer og varighet. For nødvendig materiale er det som regel tatt utgangspunkt i areal eller volum. For varighet tar formelen som oftest utgangspunkt i mengde, produksjonsrate og tilgjengelig arbeidskraft. I vedlegget finnes det derfor en oversikt med produksjonsratene og eventuelle andre tall som er brukt i formlene for å regne ut materiale eller varighet for de ulike oppgavene. Produksjonsrater og varigheter ble gitt av en nøkkelperson fra NærByen.

Navn på oppgave	Arbeidslag, antall	Kran	Materiale, mengde	Varighet
Forskaling av dekkeflate	Betongdekke, 4-6	Ja	Forskaling system dekke, $((el.surface_area-el.lateral_surface_area)/2)$	$((el.surface_area-el.lateral_surface_area)/2)*0.45/num_crews$
Forskaling av nedsenk badekabin	Betongdekke, 1-4	Nei	Forskaling tradisjonell dekke, 20	$4/num_crews$
Forskaling av forkant	Betongdekke, 1-4	Ja	Forskaling tradisjonell dekke, $el.lateral_surface_area/2$	$(((((el.surface_area-el.lateral_surface_area)/2)^{0.5})^4)*0.25)/num_crews$
Armering	Betongdekke, 3-6	Ja	Armering, $el.volume*120$	$(120*el.volume*0.014)/num_crews$
Skjultanlegg rør	Rør, 2-2	Nei		$2*8$
Skjultanlegg el	Elektro, 2-2	Nei		8
Plasstøp	Betongdekke, 3-5	Nei	Betong, $el.volume$	$el.volume*0.4/num_crews$
Avtrekking/brettskuring	Betongdekke, 2-5	Nei		$((el.surface_area-el.lateral_surface_area)/4)*0.1/num_crews$
Herding	Herding (natt), 1-1	Nei		8
Riving	Betongdekke, 4-6	Nei		$((el.surface_area-el.lateral_surface_area)/2)*0.2/num_crews$

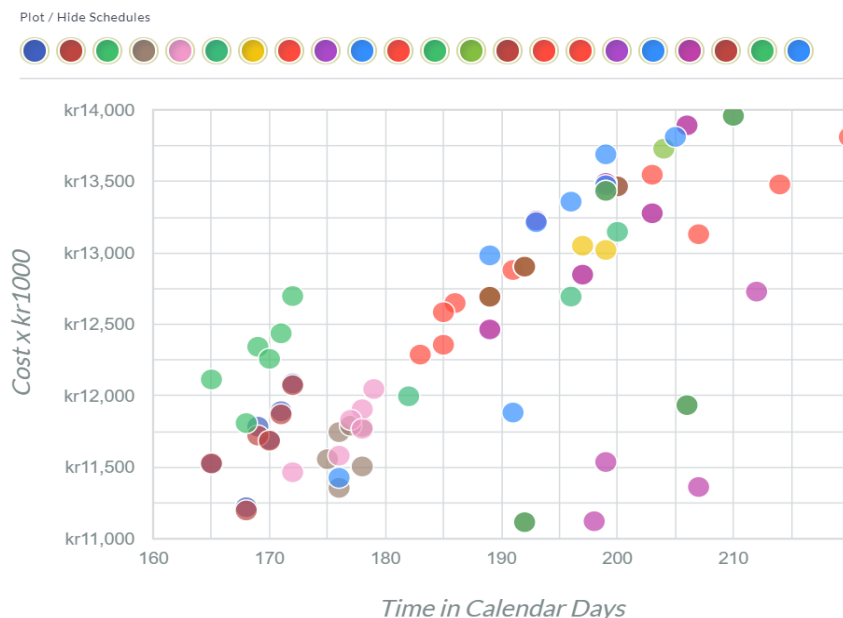
Figur 32: Utdrag fra Vedlegg E.2

3. Utforsking og analysering

Generering og utforsking av planer

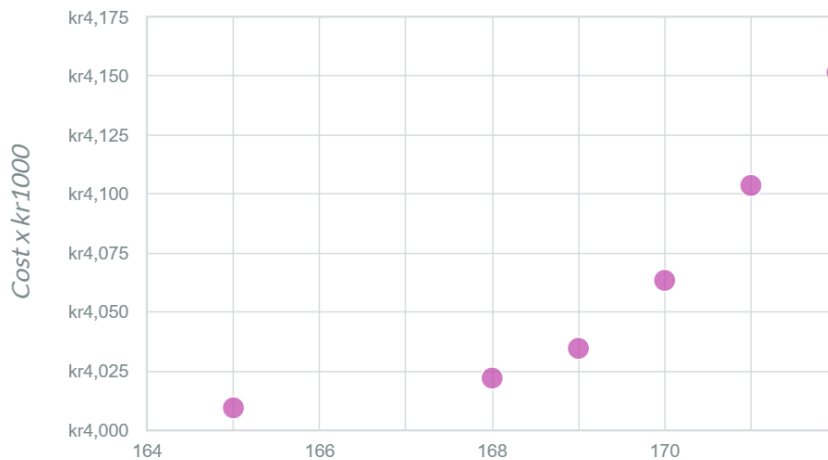
Etter at «grouping elements», «supports», «project resources» og «recipes» er ordnet, kan ALICE generere alternative fremdriftsplaner ved hjelp av simulering. Programmet genererer fremdriftsplaner basert på de tilgjengelige ressursene som er bestemt under planleggingen. I tillegg kan det fås forslag basert på andre ressursvalg, for eksempel ved at det er flere eller færre lag tilgjengelig. Når fremdriftsplanene genereres vil de dukke opp som punkter i en tid-kostnad-graf. Hvert punkt på grafen er en alternativ fremdriftsplan hvor det er mulig å se total varighet og kostnad.

I caseoppgaven ble det generert planer så snart alle elementer og ressurser var ordnet. De første forsøkene ga ikke et pålitelig resultat, og kunne blant annet finne på å konstruere dekket i 6. etasje først. Dette på grunn av feil i måten parametere og oppskrifter var bygget opp på. Derfor måtte både grupperinger, «supports», ressurser og «recipes» justeres helt frem til planene som ble generert av ALICE, var praktisk gjennomførbare. Figur 33 viser hvordan mange ulike gjennomkjøringer med små justeringer genererte mange ulike planer på tid-kostnad-grafen.



Figur 33: Skjermtutklipp av alternative planer i ALICE

Den siste gjennomkjøringen i ALICE genererte totalt seks ulike alternative fremdriftsplaner. Resultatene er vist i grafen i Figur 34. Den korteste byggetiden var på 165 kalenderdager med en kostnad på 4.009.415,- NOK. Det lengste og mest kostbare alternativet tok 172 dager og kostet 4.151.555,- NOK. Det var altså ikke et stort sprik mellom de ulike alternativene, mye ettersom ALICE fikk begrensede valgmuligheter med hensyn til elementer og soneinndeling.

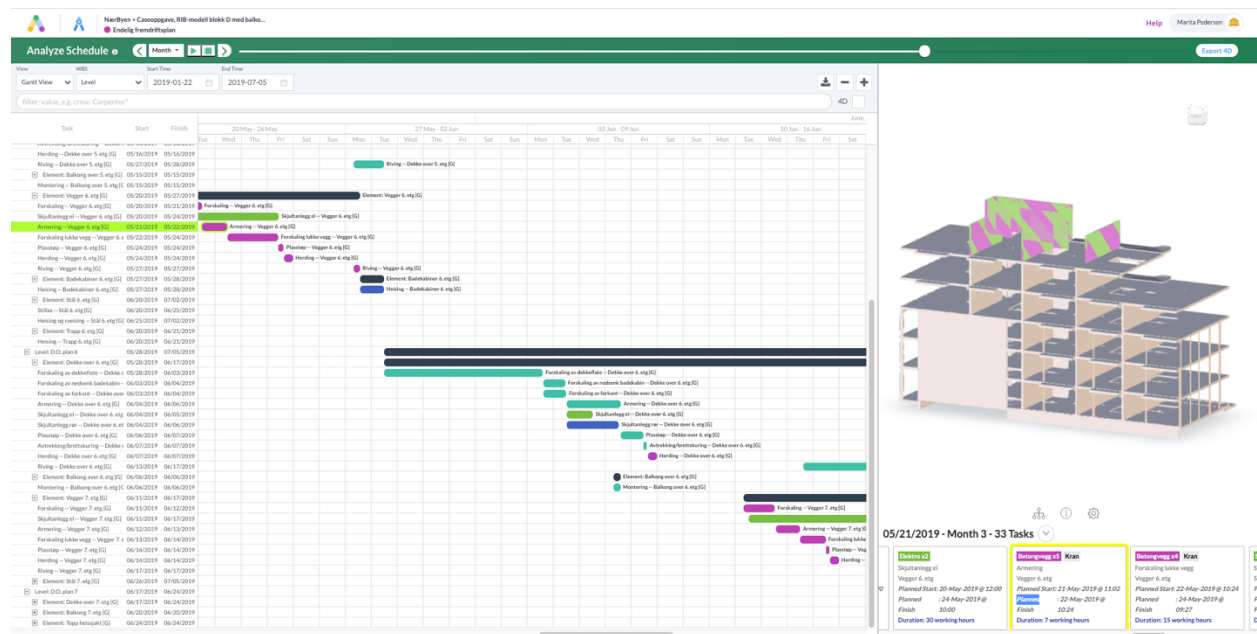


Figur 34: Fremdriftsplaner i ALICE

Analyse av planer

Etter at ALICE har generert ulike fremdriftsplaner, kan disse analyseres. Analysesiden for en plan vil vise et Gantt-diagram over alle de planlagte oppgavene. I tillegg har hver oppgave en oversikt som viser hvilket lag som skal gjøre hvilket arbeid, og hvor i modellen. Det genereres også en 4D-animasjon som kan visualisere byggerekkefølgen. Analysesiden gir altså tilgang til informasjon som det ikke nødvendigvis er mulig å se direkte ut fra et Gantt-diagram. Gantt-diagrammet kan også eksporteres til Primavera P6, eller som en CSV-fil.

I casestudien ble planen med den korteste byggetiden valgt ut for analyse. Denne planen var også alternativet med den laveste kostnaden. Et utdrag av planen er vist i Figur 35. Analysen av planene i caseoppgaven ble som nevnt gjort sammen med en representant fra prosjektet. Dette er nærmere beskrevet i 5.2. Planen kan sees i sin helhet i Vedlegg E.3.



Figur 35: Analyse av plan i ALICE

5.2 Fordeler og ulemper ved bruk av KI

I dette kapitlet vil resultatene fra analysen i casestudiet presenteres. Planen laget i ALICE blir sammenlignet mot det reelle prosjektet NærByen. Videre blir fordeler og ulemper som opplevdes gjennom casestudien presentert. En oversikt over kapitlets innhold er vist i Tabell 10.

Tabell 10: Oversikt over sammenlikning, fordeler og ulemper

Sammenlikning	Fordeler med KI	Ulemper med KI
Tradisjonelt planlagt plan	Flere og detaljerte fremdriftsplaner	Mangel på tillit til verktøyet
Faktisk fremdrift	Realistiske og gode indikasjoner	Begrenset praktisk forståelse
	Mulighet for effektiv planlegging	Krevende bruk
	Enkelt brukergrensesnitt	Manglende funksjoner

5.2.1 Sammenlikning

I dette delkapittelet sammenliknes fremdriftsplanen fra ALICE først mot den tradisjonelt planlagte planen fra NærByen, inkludert sammenlikning av kostnader. Deretter blir fremdriftsplanen fra ALICE sammenliknet mot den faktiske fremdriften som ble sett i prosjektet.

Sammenlikning mot tradisjonelt planlagt plan

For å sammenligne mot tradisjonelt planlagt plan, ble det gitt tilgang til hovedplanen til NærByen i MS Project. Denne bestod av aktiviteter for hele prosjektet. Det ble derfor valgt å filtrere planen, slik at den kun stod igjen med aktivitetene for blokk D i råbyggsfasen. Etasje U2 og U1 for parkingskjeller og næringsareal ble også filtrert ut, da disse etasjene ikke ble inkludert i ALICE.

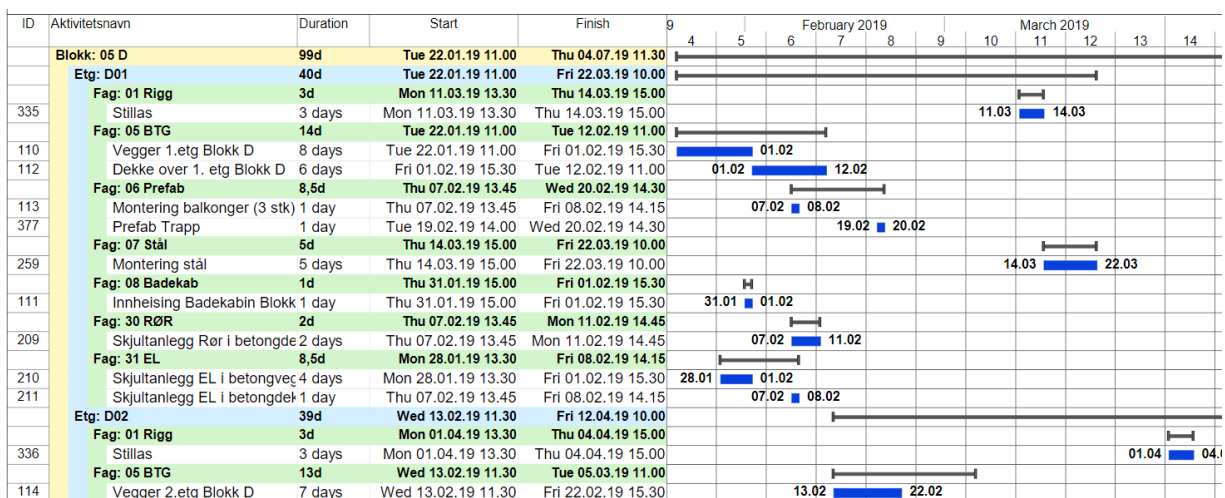
I tillegg ble faststøping av badekabiner filtrert ut da denne aktiviteten skjer etter sommerferien, og heller ikke er kritisk for fremdriften generelt i råbyggsfasen. Også heismontasje ble filtrert ut fordi denne aktiviteten skjer mye senere i prosessen. Planen som ble stående igjen var dermed kun oppgaver som foregikk i tidsrommet 22. januar til 04. juli 2019.

Ettersom hovedplanen for NærByen var i MS Project ble det også valgt å eksportere fremdriftsplanen i ALICE til MS Project. Dette ble gjort ved å først eksportere planen som en .CSV fil fra ALICE. Deretter ble denne importert til MS Project ved hjelp av en veiviser som tilordner dataen til ønsket prosjektfelt. Videre var det ønskelig å kategorisere planen på samme måte som hovedplanen til NærByen, for å enklere kunne sammenlikne de to planene.

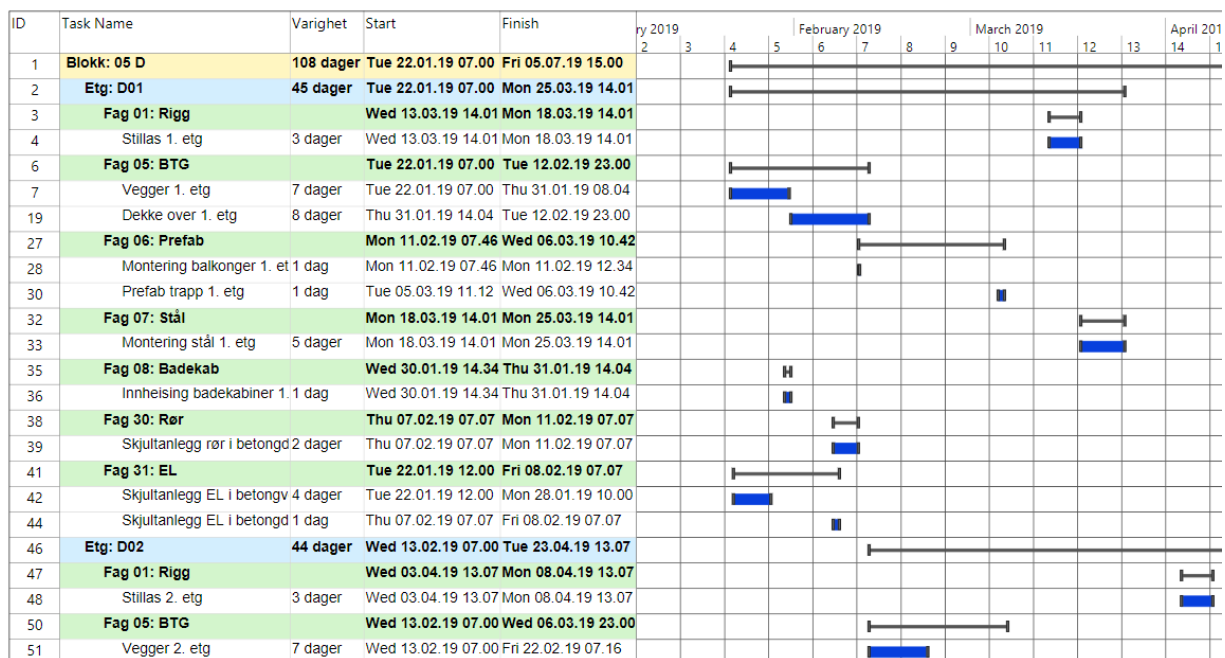
Kategoriseringen bestod av å dele bygget etter etasje, i samsvar med de lavere nivåene av planhierarkiet beskrevet i delkapittel 3.2.4. Hver etasje var videre delt inn i fagene rigg, betong, prefabrikkerte elementer, stål, badekabiner, rør og elektro. Hovedplanen inkluderte kun overordnede oppgaver som eksempelvis vegger eller dekker. For planen laget i ALICE ble derfor de ulike deloppgavene som forskaling og armering slått sammen i MS Project, for å representere de overordnede oppgavene.

Kapittel 5: Resultat fra casestudie

Resultatet var to fremdriftsplaner i MS Project som enkelt kunne sammenliknes. Utdrag fra fremdriftsplanene i Figur 36 og Figur 37 viser likheten mellom de to planene. De to fremdriftsplanene er inkludert i sin helhet i Vedlegg E.4 og Vedlegg E.5. Merk at varighet er rundet av til hele arbeidsdager i de to fremdriftsplanene.



Figur 36: Hovedplan for NærByen



Figur 37: Fremdriftsplan laget i ALICE

Ved sammenlikning av de to planene observeres det store likheter i prosjektets varigheter. Begge fremdriftsplanene starter 22.01.19. Fremdriftsplanen laget på tradisjonell måte slutter 04.07.19, mens planen laget i ALICE slutter 05.07.2019. Det er altså totalt kun én dag forskjell i den totale varigheten for byggefasen det er sett på.

Likevel er antall arbeidsdager noe høyere for planen laget i ALICE. Denne planen bruker totalt 108 arbeidsdager, mens den tradisjonelle planen bruker 99 dager. Det vil si at det er flere arbeidsdager i den tradisjonelle planen der det ikke skjer aktivitet. Det betyr også at planen laget i ALICE bruker noe mer tid enn den tradisjonelle planen.

For hver etasje er dekket det siste elementet som må være på plass før elementene i neste etasje kan bygges. Dekket over 1. etasje i begge planene er ferdige 12.02.19, og veggene i etasjen over starter påfølgende dag. Det vil si at syklusen fra det startes å bygge vegger i 1. etasje ved planens start, til det startes å bygge vegger i 2. etasje, er lik for de to planene. I begge planer varer denne syklusen fra 22.01.19 til 13.02.19 som kan sees i de to figurene over.

Det er laget en tabell for å videre kunne sammenligne syklus og byggetid. Tabell 11 viser alle overordnede oppgaver i 1. etasje, samt varigheten av hver aktivitet. Dette for å kunne vise likheter og forskjeller på etasje- og oppgavenivå.

Tabell 11: Oversikt over varigheter for 1. etasje

Element	ALICE	Tradisjonell
Etg: D01	45	40
Stillas	3	3
Vegger 1. etg	7	8
Dekke over 1. etg	8	6
Montering balkonger	1	1
Prefab trapp	1	1
Montering stål	5	5
Innheising badekabin	1	1
Skjultanlegg rør i betongdekke	2	2
Skjultanlegg EL i betongvegger	4	4
Skjultanlegg EL i betongdekke	1	1

Det er noe lenger total byggetid for 1. etasje ved bruk av ALICE. Planen i ALICE bruker totalt 45 arbeidsdager på oppgavene i etasjen, mens den tradisjonelle planen bruker 40 dager. Dette er blant annet fordi oppgavene med å montere trapp og stål starter senere i ALICE enn i den tradisjonelle planen. Monteringen av disse elementene er ikke direkte avhengig av å skje på ett spesielt tidspunkt i byggeprosessen. Innheising av trapp kan skje når som helst, så lenge både etasjen under og over er klar. Monteringen av stål kan gjennomføres etter at det er klart minst to etasjer over. Disse oppgavene skjer altså senere enn resten av oppgavene i etasjen, og er heller ikke direkte avgjørende for fremdriften av videre oppgaver i råbyggsfasen. Derfor bruker planen i ALICE noen flere arbeidsdager totalt i etasjen, selv om forskjellen i antall dager per oppgave ikke er like stor.

I tillegg har dekkene i planen laget i ALICE generelt en lengre varighet. Det kan være flere grunner til dette. Blant annet er det valgt at riving skal skje rett før forskalingen til dekket i etasjen over settes opp. Det betyr at oppgaven riving får en relativt lang forsinkelse, og derfor ble denne aktiviteten heller inkludert som første aktivitet for dekket i etasjen over i planen i MS Project. Dermed har noen dekker så lang som ti dager varighet. Det er altså noen små variasjoner mellom de to fremdriftsplanene, men på generell basis er det likevel store likheter.

Som en ekstra kontroll ble det gjort et overslag for pris av egenproduksjon i form av betongarbeid fra kalkylen til prosjektet. Totalkostnad er estimert til å være cirka 4.130.000,- NOK ekskl. mva. ALICE estimerte at prisen for betongarbeidet ville ligge på 4.009.415,- NOK. Ettersom begge planene har en estimert kostnad på rundt fire millioner kroner, viser det at det også er store likheter mellom kostnadsestimatene som ALICE produserer, og kalkulert kostnad for det reelle prosjektet.

Sammenlikning mot faktisk fremdrift

Sammenligning mot faktisk fremdrift foregikk gjennom samtale med en representant fra NærByen, i tillegg til sammenligning mot bilder fra byggeplassen. Det ble gitt tilgang til totalt 14 bilder fra byggeplassen, som var tatt med 1-4 ukers mellomrom i perioden 17.01 - 05.07. Tabell 12 viser en oversikt over bildene, og hvilken aktivitet som pågår på bildene. Videre viser tabellen når samme aktivitet foregår i planen i ALICE. Det er i hovedsak tatt hensyn til aktivitetene vegger og dekker.

Tabell 12: Sammenligning mot bilder av faktisk fremdrift

Dato bilde	Aktivitet bilde	Dato ALICE	Aktivitet ALICE
17.01	1. et ikke startet	22.01	Start 1. etasje
01.02	Vegger 1. et. ferdig, forskaling dekke startet	31.01 - 12.02	Dekke over 2. etasje
18.02	Vegger 2. et. påbegynt	13.02 - 22.02	Vegger 2. etasje
01.03	Dekke over 2. et. støpt	20.02 - 06.03	Dekke over 2. etasje
11.03	Vegger 3. et. ferdig	07.03 - 18.03	Vegger 3. etasje
01.04	Vegger 4. et. støpes	29.03 - 05.04	Vegger 4. etasje
10.04	Dekke over 4. et. armering startet	04.04 - 26.04	Dekke over 4. etasje
07.05	Dekke over 5. et. ferdig armert	06.05 - 16.05	Dekke over 5. etasje
16.05	Vegger 6. et. ferdig, forskaling dekke startet	20.05 - 27.05	Vegger 6. etasje
24.05	Dekke over 6. et. forskaling satt opp	27.05 - 07.06	Dekke over 6.
04.06	Vegger 7. et. bygges	11.06 - 17.06	Vegger 7. etasje
14.06	Dekke over 7. et. støpes	13.06 - 27.06	Dekke over 7. etasje
24.06	Dekke over 7. et. ferdig	13.06 - 27.06	Dekke over 7. etasje
05.07	Råbygg ferdig	05.07	Råbygg ferdig

Tabellen viser at varighetene var like i starten. Blant annet viser bildet tatt 01.02 at veggene i 1. etasje var ferdig, og at forskaling av dekket over var påbegynt. Dette bildet kan sees i Figur 38. I planen laget i ALICE var vegger i 1. etasje ferdig 31.01, og forskaling av dekket over starter samme dag. Disse aktivitetene skjer altså i samme periode for både planen fra ALICE og faktisk fremdrift. Videre viser bildet tatt 18.02 at dekket over 1. etasje var ferdig støpt, og at vegger i 2. etasje var påbegynt. Dette i likhet med planen i ALICE hvor vegger i 2. etasje foregår mellom 13.02 - 22.02.



Figur 38: Bilde fra NærByen tatt 01.02 (Foto: Roger Eggen)

Det er derimot flere steder hvor planen i ALICE ligger bak den faktiske fremdriften. Blant annet viser bildet tatt 16.05 at vegger i 6. etasje var ferdig, og at forskalingen i dekket over denne etasjen hadde startet. Dette bildet er vist i Figur 39. I planen i ALICE er derimot ikke veggene i 6. etasje ferdig før 27.05. Fremdriften i ALICE er altså noe ulik fra faktisk fremdrift, utover i prosjektet.



Figur 39: Bilde fra NærByen tatt 16.05 (Foto: Roger Eggen)

Den siste oppgaven som skjer i planen laget i ALICE er å montere stillas og stål i 6. og 7. etasje. Dette skal etter planen i ALICE gjøres mellom 20.06 og 05.07. På bildet tatt 24.06 er det ikke satt opp stillas eller stål i 6. eller 7. etasje. På bildet tatt 05.07 er stillaset og stålet på plass. Dette antyder at stillas og montering av stål skjer i omtrent samme periode som i planen i ALICE.

Generelt var det store likheter mellom planen i ALICE og faktisk fremdrift. Det var noen avvik underveis i form av at den faktiske fremdriften tok kortere tid enn planen til ALICE. Dette kan til dels skyldes at det i løpet av den faktiske produksjonen ble arbeidet noe overtid. Representanten fra prosjektet fortalte at de opplevde å ha noe dårlig tid, og derfor også måtte ta i bruk flere ressurser i form av arbeidskraft som var ferdig på de andre blokkene i prosjektet.

5.2.2 Fordeler ved bruk av kunstig intelligens

I dette delkapittelet presenteres fire fordeler for bruk av programvaren ALICE.

Flere og detaljerte fremdriftsplaner

ALICE gir mulighet for å utforske ulike prosjektscenarier. I programmet er det enkelt å gjøre endringer av blant annet tilgjengelige ressurser for å se hvordan det vil påvirke planen, både med hensyn til tid og kostnad. Selve genereringen av planer tar kort tid, som gjør at de ulike scenariene raskt kan utforskes. Ved hjelp av ALICE kan det dermed genereres mange ulike alternative fremdriftsplaner, noe som kan være en fordel.

Det er også mulig å selv bestemme hvor detaljerte fremdriftsplanene skal være. Eksempelvis ble det for betongarbeid laget detaljerte oppskrifter med mange oppgaver. Derimot ble det for balkonger kun lagt inn én oppgave kalt «montering». Muligheten for å enkelt kunne bestemme hvor detaljert planen skal være, kan være en fordel. Fremdriftsplanen laget i ALICE inneholdt etter eksport til MS Project totalt 293 rader. Til sammenligning inneholdt hovedplanen til NærByen 127 rader. Den detaljerte planen i ALICE kunne dermed vært et godt utgangspunkt for videre produksjon av planer på høyere nivå i planhierarkiet, for eksempel drifts- og basplaner.

Realistiske og gode indikasjoner

Resultatene fra caseoppgaven var sammenlignbare med både planen laget på tradisjonell måte, og den faktiske fremdriften for NærByen. Det var store likheter med både tradisjonelt planlagt plan og faktisk fremdrift, både med hensyn til tid og kostnad. Det er derfor tydelig at planene i ALICE kan gi gode indikasjoner og en pekepinn på hva som ville lønne seg generelt i prosjektet ved utarbeidelse av fremdriftsplaner.

Om ALICE kan gi bedre resultater eller mer optimaliserte fremdriftsplaner er ikke vurdert gjennom caseoppgaven. Dette fordi ALICE fikk lite spillerom til å utforske veldig mange ulike strategier. Det ble satt begrensinger i ALICE, spesielt i forhold til oppdeling og gruppering av elementer, avhengigheter, og tilgjengelige ressurser. På denne måten ble det enklere å sammenligne med det faktiske prosjektet. I tillegg ville det med manglende erfaring om både programvaren og

fremdriftsplanlegging være vanskelig å vurdere om en fremdriftsplan som var raskere enn den reelle planen, egentlig kunne anses bedre eller mer optimal. Dette med tanke på at en for rask fremdriftsplan gjerne ikke vil være praktisk gjennomførbar.

Mulighet for effektiv planlegging

ALICE tilbyr en programvare som legger til rette for både automatisering og gjenbruk. Programvaren tar utgangspunkt i BIM, og henter mengder herfra. ALICE kan derfor parametriske regne ut kostnader og varigheter, ved hjelp av enhetspriser og produksjonsrater. Dersom en bedrift har slike erfaringstall tilgjengelig, har ALICE stort potensiale til å kunne effektivisere dagens praksis. I tillegg kan «recipes» med oppskrifter for ulike bygningselementer gjenbrukes. Dette vil potensielt kunne spare mye tid. Med erfaringstall samt gjenbrukbare «recipes» tilgjengelig, vil det kun være behov for å gjøre individuelle tilpasninger for hvert prosjekt.

I tillegg inneholdt fremdriftsplanen laget i ALICE etter eksport til MS Project som nevnt totalt 293 rader. Genereringen av planer tar kun et par minutter, og det er derfor tydelig at det vil være effektivt å la ALICE legge inn tidsbruk og dato for alle disse aktivitetene, i motsetning til å gjøre det manuelt. Ved bruk av ALICE er det dermed mulighet for en mer effektiv planlegging.

Enkelt brukergrensesnitt

Arbeid i programvaren ble gjort uten noen opplæring i forkant. Det ble brukt litt tid på å se videoer fra ALICE sitt supportsystem, i tillegg til å få en hurtig demonstrasjon på delt skjerm. Utover dette ble forfatterne kjent med programvaren ved hjelp av «learning by doing». Dette viser at det er mulig å få ut et realistisk resultat uten opplæring eller support. ALICE har et godt grafisk brukergrensesnitt (GUI), som gjør det enkelt å manøvrere seg rundt.

Fremdriftsplanen fås ut i et Gantt-diagram, som store deler av byggebransjen er godt kjent med å bruke. ALICE genererer også en automatisk 4D-modell, når fremdriftsplanen er klar for analyse. Slik er det mulig å raskt se om resultatet er realistisk og kontrollere om elementene følger fysiske lover for aktivitetsrekkefølge.

5.2.3 Ulemper ved bruk av kunstig intelligens

I dette delkapittelet presenteres fire ulemper eller utfordringer ved bruk av programvaren ALICE.

Mangel på tillit til verktøyet

Gjennom caseoppgaven opplevdes det som utfordrende å skulle stole på fremdriftsplanene som ble generert, uten å ha vært med gjennom hele prosessen med å lage planene. Fremdriftsplanene generert i ALICE inneholdt svært mange aktiviteter for kun råbyggsfasen, til tross for at elementene var gruppert etasjevis. For et helt prosjekt med enda flere oppgaver vil det være enda vanskeligere å holde oversikt, og kunne vite om programmet gir ut gode og realistiske resultater. Dersom det foretas en endring, er det også vanskelig å si hvordan den endringen vil påvirke på hele planen. En ulempe med ALICE er derfor at det kan være utfordrende å ha tillit til verktøyet.

Begrenset praktisk forståelse

Det var tydelig gjennom arbeidet med caseoppgaven at ALICE ikke tar hensyn til om alle valg er hensiktsmessige med tanke på byggbarhet eller ikke. Programmet kan gjøre flere rare ting som strider mot fysiske lover eller praktisk gjennomførbarhet. Som tidligere nevnt kan programmet foreslå å forskale et dekke i løse luften. Det kan også foreslå å starte og støpe elementer rett før en helg eller ferie, for så å fortsette støpingen like etter oppholdet. For eksempel vil det ikke være hensiktsmessig å tilkalle en støpebil for å kun skulle støpe i en halvtime rett før helg. Det er altså en ulempe at ALICE mangler den menneskelige evnen til å ta vurderinger som handler om praktiske og hensiktsmessige begrensninger.

Krevende bruk

En annen ulempe som opplevdes, var at det til tross for automatisering tok mye tid og arbeid for å få ut en fremdriftsplan. Bearbeiding og klargjøring av modellen for opplasting i ALICE kan være en omfattende prosess. Dersom det er flere bygg og flere faser enn kun råbygg, blir det fort en kompleks oppgave å skulle gi alle elementer riktig grupperinger, «supports» og «recipes».

Det er også svært mange logikker i programmet som må læres. Et eksempel på dette er sammenhengen mellom «supports» og eksterne referanser i «recipes». I praksis er det ofte ikke like enkelt som å si at når dekkene er helt ferdig skal veggene settes opp. Forskalingen til dekket vil gjerne bli stående frem til neste dekke skal støpes. Først da rives forskalingen og løftes til neste etasje, slik at det ikke blir nødvendig å mellomlagre denne. Det er krevende å få ALICE til å følge alle slike begrensninger, og det må da ofte tas i bruk spesielle logikker som eksterne referanser.

Manglende funksjoner ved ALICE

Det var ofte at det gjennom casestudien opplevdes at ALICE manglet noen funksjoner. For eksempel støttet ikke ALICE filformatet IFC. Det ble forsøkt å bruke en IFC-modell for NærByen, og konvertere denne til riktig filformat,. Dette viste seg å være krevende, og studien gikk derfor raskt over til å bruke den originale Revit-modellen. Det er kjent at både Norge og Europa stadig støtter mer bruk av IFC, og det er derfor en ulempe at ALICE ikke støtter andre filformater enn Revit og Navisworks.

En annen utfordring opplevdes ved bruk av kran i oppgavene. Dersom en oppgave ble satt som kranavhengig, ville kranen være opptatt under hele oppgavens varighet. For eksempel vil det ved armeringer av dekker være nødvendig med kran, men oppgaven vil ikke oppta kranen under hele aktivitetens varighet. Det finnes flere eksempler på at en kran kan brukes i flere oppgaver som går parallelt. I casestudien ble dette løst ved at noen oppgaver som i utgangspunktet krever tilgang til kran, ble satt til å ikke være kranavhengig.

Et eksempel på dette var for oppgaven riving av dekker, hvor forskalingen i praksis flyttes direkte til neste element i stedet for å måtte mellomlagres som nevnt tidligere. Derfor er kran i dette tilfellet kun valgt for forskaling av dekke, i stedet for riving, for å ta hensyn til dette. Det kan derfor virke

som om noen oppgaver i den fullstendige oversikten over «recipes» i Vedlegg E.2 som burde vært avhengig av kran, er feilaktig omtalt som ikke kranavhengig. Dette er derimot nøye gjennomtenkt for å ta hensyn til mangelen av denne typen funksjoner.

Gjennom casestudien ble det møtt flere slike utfordringer der spesifikke funksjoner ble savnet. Ettersom det ikke ble gjennomført noe opplæring og det heller ikke ble gitt tilgang til support, er det derimot usikkert om disse funksjonene egentlig var til stede, eller at det finnes andre måter å oppnå det ønskede resultatet ved å jobbe seg rundt problemet. Derfor er det valgt å ikke ha stort fokus på spesifikke manglende funksjoner som ble oppdaget i løpet av caseoppgaven.

5.3 Forutsetninger for bruk av KI

Basert på testing og analyse av casestudien, ble det erfart ulike forhold som kan anses som forutsetninger for at entreprenører skal ta i bruk programvarer som bruker kunstig intelligens i fremtiden. Dette med utgangspunkt i bruk av programvaren ALICE. Videre vil de ulike forutsetningene presenteres, inndelt i samlede kategorier som vist i Tabell 13.

Tabell 13: Oversikt over kartlagte forutsetninger fra casestudien

Aktører	Nytteverdi	Teknologi	Prosjekttype	Prosjektteam
Grunnlag fra prosjekterende	Troverdighet	Riktig filformat	Kompleksitet i bygget	Teknologisk forståelse
		Tilgang på data		Erfaring med byggeprosess
		Standardisering av oppskrifter		
		Kompatibilitet		

5.3.1 Aktører

Grunnlag fra prosjekterende

ALICE baserer seg i stor grad på bygningsinformasjonsmodellen som lastes opp i programmet. Denne bør være så ferdig som mulig før opplasting, da det blant annet kan være en del arbeid med modellen i programmet med tanke på grupperinger og «supports». Dersom det skjer en endring i planleggingsprosessen som fører til større endringer i modellen, eksempelvis en ekstra etasje eller reduksjon av dekketørrelse, risikeres det at en del av arbeidet i programvaren må gjøres på nytt.

I tillegg bør modellene være mest mulig korrekte for at mengder og elementene i modellen skal kunne gi riktige resultater i form av både varigheter og kostnader i fremdriftsplanen. Dette er først og fremst mest kritisk dersom programvaren skal benyttes til å lage en hovedplan som skal følges i prosjektet. Brukes programvaren i tidligere fase, eksempelvis anbudsfasen, er det ikke like viktig da det ikke kreves like høy grad av detaljplanlegging.

5.3.2 Nytteverdi

Troverdighet

For at fremdriftsplanen som kommer ut av ALICE skal kunne brukes i reelle prosjekt, må programvaren være til å stole på. Når de første planene i ALICE ble generert, var det åpenbare feil som ble oppdaget. Derfor måtte det utføres en del endringer frem til planene ble vurdert som tilstrekkelig realistiske. Etersom ALICE kunne foreslå fremdriftsplaner som ikke var praktisk gjennomførbare, er det klart at det kan oppleves som vanskelig å stole på programvaren uten videre. En forutsetning for å bruke denne typen programvarer er derfor at den gir troverdig output. Planen må være enkel å både forstå og lese, og ved eventuelle feil bør disse kunne oppdages raskt.

5.3.3 Teknologi

Riktig filformat

Bruk av ALICE krever først av alt BIM i et riktig filformat. Slik programmet fungerer i dag, bør modellen være laget i Revit eller Navisworks. Det er likevel mulig å konvertere modellen fra en annen filtype, men dette krever ytterligere bearbeidelse av modellen. Det ble under casestudien forsøkt å konvertere en IFC-fil og laste denne opp til ALICE. Dette viste seg å være utfordrende og skapte blant annet problemer for etasjeinndelingen. Det er derfor en forutsetning at prosjektet innehar enten BIM i riktig filformat, eller at en person med erfaring med BIM kan konvertere filen.

Tilgang på data

Oppbygging av såkalte «recipes» krever at bedriften har erfaringstall tilgjengelig. Det er mulig å estimere varigheter i programmet. Dette enten ved å manuelt bestemme hvor lang tid hver oppgave tar, eller ved å lage parametriske formler som tar hensyn til mengder fra modellen og egne produksjonsrater. Uansett kreves det erfaringstall som forteller noe om hvilken varighet bedriften eller underentreprenør pleie å bruke for hver aktivitet, enten per element eller per mengdeenhet. En forutsetning er derfor at bedriften innehar en eller annen form for database med erfaringstall.

Standardisering av oppskrifter

Bedriften bør også internt standardisere oppskrifter som brukes i ALICE, da det opplevdes som tidkrevende å lage disse. Oppskriften i form av rekkefølge på oppgavene for en type element vil som regel være relativt lik, uavhengig av prosjekt. Det som vil kunne endre seg er som regel

varighet eller kostnad per oppgave eller element. Ved bruk av standardiserte oppskrifter og parametriske formler for materialmengder og varighet, er det mulig å kun endre størrelsen på enhetskostnader og enhetstider som kan variere fra prosjekt til prosjekt. Slik kan oppskriftene gjenbrukes, og det unngås arbeid med å lage disse fra bunnen av hver gang.

Kompatibilitet

Fremdriftsplanen som kom ut av ALICE var presentert et i Gantt-skjema med tilhørende 4D-visualisering, og med muligheter for å zoome inn eller ut på aktiviteter. Utover dette ble det ikke funnet eksempelvis en god filtreringsfunksjon. Det opplevdes derfor som vanskelig å ha god oversikt i visningen i programmet, og det ble derfor valgt å overføre fremdriftsplanen til MS Project for sammenlikning mot den tradisjonelle planen. Der kunne oppgaver kategoriseres og grupperes på ønskelig måte. Uten mulighet for eksport hadde det vært svært vanskelig å sammenligne planene, eller bearbeide planen videre. Det er derfor tydelig at det må være en forutsetning at programmer som ALICE kan samhandle med andre programmer og styringsverktøy.

5.3.4 Prosjekttype

Kompleksitet

Da elementene i modellen ble gruppert, ble det gjort med bakgrunn i at det skulle være enkelt å håndtere modellen i ALICE og sørge for at byggerekkefølgen ble korrekt. Grupperte elementer blir ansett som ett stort enkeltlement i ALICE. Problemet med dette er at det også gir ALICE færre valgmuligheter. Hadde veggene i modellen ikke blitt gruppert sammen i hver etasje, kunne ALICE valgt fritt hvilke vegger det var mest hensiktsmessig å starte med for å oppnå kortest mulig varighet. Dette eksempelet kan overføres til grad av kompleksitet. Prosjektet i casestudiet anses å være et relativt enkelt og «rett-frem» bygg, og med den grupperingen som ble gjort fikk ikke ALICE mange angrepspunkter å jobbe med.

I tillegg ble det i caseoppgaven valgt å fokusere på råbygget. Ved sammenlikning av fremdriftsplan fra ALICE og fra prosjektet, var det liten forskjell i total varighet. Dette kan delvis skyldes grupperinger og oppbygging av «recipes», men det kan også skyldes at råbyggsfasen er en mer oversiktlig og håndterbar prosess med færre involverte aktører enn i de videre fasene. Hadde prosjektet innehatt større kompleksitet, med eksempelvis flere elementer som skulle blitt bygd per etasje, ville ALICE også hatt flere muligheter ved generering av fremdriftsplaner. Det anses derfor som en forutsetning at prosjektet må være litt komplekst i form av angrepspunkter for at ALICE skal kunne gi markant bedre resultater enn det som oppnås ved tradisjonell fremdriftsplanlegging.

5.3.5 Prosjektteam

Teknologisk forståelse

I utgangspunktet tilbyr ALICE seks uker med opplæring der konsulenter fra ALICE blant annet besøker bedriften for å sørge for at programmet blir brukt korrekt. Under denne casestudien ble det gitt tilgang til programvaren, uten at det ble gitt noen opplæring i forkant. Selve programmet er intuitivt og lett å bruke, og ALICE gir tilgang til ulike instruksjonsvideoer og retningslinjer. Det opplevdes likevel at bruk av programmet krever noe teknologisk forståelse. Blant annet må 3D-modellen være bearbeidet og rensset før den kan tas inn i ALICE.

I casestudien ble RIB-modell lastet opp til ALICE. Modellen inneholdt da 379 elementer. Disse elementene var ikke riktig satt opp i forhold til «supports», og måtte derfor videre grupperes slik at det var enklere og mer håndterbart å tildele riktige «supports» og oppskrifter. Dersom modellen hadde hatt enda flere elementer i form av fasader, vinduer, dører, og lignende, ville dette ha vært en enda mer krevende jobb. Det var også til tider utfordrende å lære seg logikkene til programmet, og hvordan det fungerte. Det var derfor tydelig gjennom arbeidet med casestudien at det kreves noe teknologisk forståelse, da arbeidet kan oppleves som krevende.

Erfaring med byggeprosess

Når det skulle lages oppskrifter til de ulike elementene i caseoppgaven, var det nødvendig å gjøre dette sammen med relevante og erfarne personer fra det aktuelle prosjektet. I forkant av casestudien ble det mottatt et par enhetstider av Veidekke, som sa noe om produsert mengde per tid for et gitt element eller oppgave. Dette ble brukt i parametriske formler som automatisk tilpasser seg størrelsen eller mengden til et element. Det var likevel en utfordring i å forstå om de varighetene som ALICE genererte fra formlene var realistiske, ettersom programvaren ikke innehar noen kontroll eller verifisering for dette. Fremtidig bruk av programvaren har derfor en forutsetning om at det må utføres av personer som har erfaring og kunnskap med fremdriftsplanlegging, for å kunne vite om outputen er rasjonell.

Programvaren krever også kompetanse tilknyttet byggeprosesser. Generell aktivitetsrekkefølge og elementsekvens er nødvendig med hensyn til fysiske begrensninger, og ivaretas ved hjelp av «recipes» og «supports». I tillegg til dette vil det være andre avhengigheter og begrensninger i prosjektet. Dette kan kreve at rekkefølgen manuelt må overstyres ved for eksempel en kombinasjon av «supports» og «external references». Et eksempel på dette er riving av dekkeforskaling som ikke bør skje før dekket i neste etasje skal forskales, for å unngå å måtte lagre forskalingen på byggeplass i mellomtiden. Dette er ting en erfaren fremdriftsplanlegger kan sikre at det blir tatt høyde for, og denne type kunnskap er derfor en forutsetning for bruk av programmer som ALICE.

6 Diskusjon

I dette kapitlet vil resultater fra intervju og casestudie drøftes. Kunnskap fra det teoretiske rammeverket vil også bli koblet opp mot funnene i oppgaven. Kapitlet blir delt opp etter de tre forskningsspørsmålene i likhet med resultatkapitlene, og på denne måten skapes det en rød tråd gjennom oppgaven ved at funnene kan sammenlignes mot hverandre. Dette gjør det også enklere å konkludere for hvert forskningsspørsmål i neste kapittel.

6.1 Bruk av KI i fremdriftsplanlegging

6.1.1 Muligheter på markedet

Det finnes i dag flere programvarer som benytter kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging. I forbindelse med oppgaven ble det valgt ut seks ulike programvarer, for å kunne diskutere hvordan kunstig intelligens kan brukes til fremdriftsplanlegging. De utvalgte programvarene er ALICE, nPlan, Kreo Plan, InEight Schedule, Kwant.ai og Holte Fremdrift. Funnet av de seks programvarene viser at det allerede i dag er flere aktører på det internasjonale markedet som tilbyr programvarer som benytter kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging. De seks programvareleverandørene var alle villige til å dele informasjon i forbindelse med masteroppgaven.

Identifisering av de seks programvarene var en relativt enkel prosess, ved at de var lett tilgjengelige med bruk av relevante søkeord. Gjennom søket ble det funnet mange ulike programmer, men basert på informasjonen på nettsidene var det likevel ikke vanskelig å avgrense søket til seks programmer. Faghihi m.fl. (2015) forteller at interessen for å utvikle programvarer som bruker kunstig intelligens for å optimalisere fremdriftsplaner har eksistert siden 1960-tallet. De seks programvarene er tilsynelatende relativt nye. Kombinasjonen av at det var enkelt å identifisere programvarene, og at disse samtidig er relativt nye, viser at det trolig er økt interesse og etterspørsel for denne type programvarer i dag.

Samtlige av de seks utvalgte programvarene benytter KI i fremdriftsplanlegging, men i ulik grad og med varierende tilnærming ved at de tjener ulike formål. For eksempel er målet til ALICE å gi ut optimaliserte fremdriftsplaner, og raskt kunne vise effekten av «hva-hvis» scenarier. Kreo Plan og Holte Fremdrift har også til hensikt å gi ut forslag til fremdriftsplaner ved hjelp av automatisering. Fra samtaler med nPlan og InEight Schedule kan det derimot virke som de er mer fokusert mot å fremheve risiko og gi realistiske forslag basert på en allerede utarbeidet fremdriftsplan. Kwant.ai har igjen en annen tilnærming ved at de er mer rettet mot selve produksjonsfasen, men tilbyr likevel noen funksjoner for å planlegge og etablere prognoser for arbeidskraft og varighet.

Videre bruker de ulike programvarene forskjellige former for kunstig intelligens. For eksempel bruker programmene ALICE og Holte Fremdrift simuleringer for å optimalisere deler av fremdriftsplanleggingen. Kreo Plan oppgir derimot at programvaren bruker maskinlæring for å

gjenkjenne elementene i BIM-modellen. InEight Schedule og nPlan bruker også maskinlæring, men gjør dette for å lagre og analysere historisk prosjektinformasjon.

Både ALICE, Kreo Plan, Kwant.ai og Holte Fremdrift oppgir i tillegg at BIM er en del av inputen. nPlan og InEight har derimot en annen løsning fordi programmene lærer av historiske fremdriftsplaner, og dermed også bruker allerede produserte fremdriftsplaner som input. Selv om det ved første øyekast kan virke som om det er store likheter mellom de ulike programmene, har de i utgangspunktet svært forskjellige angrepspunkt og tilnærming i forhold til temaet kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging.

Intervjuene med entreprenørene indikerte ikke at det var noen av programvarene som var overlegent mer nyttig enn de andre. Kunstig intelligens kan altså være nyttig til alt fra simuleringer, optimalisering av fremdriftsplaner, gjenkjenning av BIM-elementer, til fremheving av risiko. Hva som er mest nyttig er i stor grad avhengig av faktorer som bedriftens behov, prosjektets fase og tilgjengelig data. For eksempel tilbyr nPlan og InEight Schedule en løsning som bruker maskinlæring. Dette krever altså tilgang til en stor mengde data, og vil derfor ikke være en relevant løsning for alle entreprenører. Som nevnt av Mohammadpour m.fl. (2019) er mangel på data en av de største utfordringene i byggebransjen. Dette diskuteres imidlertid videre som en forutsetning i 6.3.

6.1.2 Erfaringer og bruk i Norge

De fleste av de største norske entreprenørene i Norge ble kontaktet i forbindelse med masteroppgaven. Likevel var det kun tre entreprenører som oppga at de hadde erfaring med kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging. De fleste andre var svært interesserte i å høre mer, men hadde ingen erfaring per dags dato. Det var altså tydelig fra starten av arbeidet at det var lite erfaring med denne typen programvare i Norge i dag.

Intervjuene med entreprenører tok for seg hvordan de tre entreprenørene hadde testet ALICE i sin bedrift. Dette ble gjort for å kartlegge den erfaringen som faktisk finnes i den norske byggebransjen i dag. Til tross for at de tre entreprenørene har brukt programvaren, er likevel erfaringene noe begrenset. To av de tre entreprenørene hadde kun testet ALICE på ett prosjekt, og hadde valgt å avslutte testingen underveis. Den siste entreprenøren har kun gjennomført innledende testing, og har ikke brukt programvaren i et reelt prosjekt. Dette viser at kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging blir benyttet i svært liten grad i byggebransjen i dag, og at det fortsatt er en lang vei å gå for norske entreprenører.

Videre ble den norske programvareleverandøren Holte intervjuet angående programvaren Holte Fremdrift som er under utvikling. Holte hadde selv opplevd et ønske og behov fra kundene i forhold til å kunne automatisere og effektivisere fremdriftsplanlegging. At også en norsk programvareleverandør velger å benytte kunstig intelligens inn i et fremdriftsverktøy, er et godt tegn på at KI gjør et økende inntog innenfor dette fagfeltet, også i Norge.

I casestudien ble det gjennomført et forsøk på å lage fremdriftsplaner i ALICE for prosjektet NærByen i Trondheim. Dermed ble det også tilegnet egne, subjektive erfaringer med programvaren ALICE. Dette ble gjort for å demonstrere den praktiske bruken av ALICE, og er et dokumentert eksempel på hvordan ALICE kan brukes til fremdriftsplanlegging i dag. ALICE ga ut et realistisk resultat som hadde et totalt avvik på én dag fra den tradisjonelt planlagte planen, og viser med det at programmet kan være et nyttig verktøy for entreprenører.

6.1.3 Oppsummering

Det er tydelig at det finnes svært lite erfaring med bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging i den norske byggebransjen. Likevel har det allerede kommet flere relativt nye programvareleverandører på det internasjonale markedet, som tyder på økt interesse og etterspørsel. Til og med en norsk programvareleverandør har valgt å kaste seg på denne KI-bølgen. De ulike programvarene har i tillegg svært forskjellige angrepspunkt og tilnærming med tanke på temaet kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging, som viser at KI har et stort bruksområde og kan bidra til å løse mange ulike utfordringer ved dagens praksis.

6.2 Fordeler og ulemper ved bruk av KI

6.2.1 Fordeler ved bruk av kunstig intelligens

Gjennom intervju ble det kartlagt en rekke utfordringer ved tradisjonell fremdriftsplanlegging. Programvarer som benytter kunstig intelligens er laget for å møte flere av disse utfordringene. På bakgrunn av dette, samt gjennomføring av casestudien, ble fordelene med bruk av ALICE og KI i fremdriftsplanlegging vist i Tabell 14 identifisert. Det er stort samsvar mellom funnene fra intervjuene og casestudien. Derfor er fordelene vist i en tabell for å enkelt kunne illustrere likheter og ulikheter i resultatene.

Tabell 14: Oversikt over fordeler hentet fra resultat av intervju og casestudie

Intervjuer	Caseoppgave
Flere og optimaliserte fremdriftsplaner	Flere og detaljerte fremdriftsplaner
Gode indikasjoner	Realistiske og gode indikasjoner
Effektiv planlegging	Mulighet for effektiv planlegging
Datakraft og kompleksitet	
	Enkelt brukergrensesnitt

Flere, optimaliserte og detaljerte fremdriftsplaner

Ved utarbeidelse av fremdriftsplaner med tradisjonelle metoder, er det så arbeidskrevende å skulle undersøke ulike alternativer at det som regel kun utarbeides én plan. I tillegg er dette arbeidet så omfattende at det er utfordrende å sørge for at kvaliteten på denne planen blir god. Gjennom oppgaven kom det tydelig frem at kunstig intelligens kan bidra til å optimalisere fremdriftsplaner, og dermed bidra til å løse denne utfordringen. Videre er det vist at KI også gir mulighet for å utforske flere strategier, og kan detaljere opp planen i den grad som ønskes. Levy og Skjærstad (2017) forteller at fremdriftsplaner har ulik detaljeringsgrad etter hvilken fase de skal brukes i. Det sees derfor positivt at eksempelvis ALICE kan brukes for et hvilket som helst nivå i et planhierarki.

I en tradisjonelt planlagt plan er det videre belyst at det vil alltid være hull eller opphold som det er vanskelig å fylle med aktiviteter. Med hjelp av KI kan derimot slike hull fylles automatisk, da programvare kan ha langt bedre oversikt over et prosjekt, enn hva menneskelig intelligens vil ha. Et menneske har mye vanskeligere for å blant annet ta inn over seg all informasjon tilknyttet eksisterende prosjektbegrensninger som må ligge til grunn når ulike scenarier skal forutses. Casestudien viste også at programvaren optimaliserte framdriftsplanen i den grad den klarte å utnytte tilgjengelige arbeidstimer og oppgaver å arbeide med, tatt ressursbegrensninger i betraktning. Bruk av KI kan altså gi bedre kvalitet på fremdriftsplanene, for å videre spare tid og kostnader i prosjektene.

Realistiske og gode indikasjoner

Det er tidligere belyst at programvarene ikke nødvendigvis forslår hensiktsmessige eller praktisk gjennomførbare planer. Til tross for dette var det tydelig at selv om de foreslåtte planene ikke kan følges til punkt og prikke, gir programmer som ALICE en god indikasjon og pekepinn på hva som vil lønne seg generelt i prosjektet. Sammen med vurdering fra en person med erfaring med fremdriftsplanlegging, kan programvaren derfor gi gode forslag og indikere både varigheter, kostnader og ressursbehov.

Basert på casestudien ble det observert liten forskjell mellom planen laget i ALICE og hovedplanen til prosjektet. Det samme ble observert når planen fra ALICE ble sammenlignet med den faktiske fremdriften. Det vektet først og fremst positivt at det var store likheter mellom planene, ettersom det forteller at det er mulig å få ut realistiske resultater fra programvaren. Dette indikerer også at det faktisk er hold i teknologien som finnes i dag, og at bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging derfor faktisk har en hensikt.

Mulighet for effektiv planlegging

Som nylig påpekt er utarbeidelse av fremdriftsplaner en omfattende prosess. Dette bekreftes også av Chen m.fl. (2012), som presiserer at byggeprosjekter har en unik karakter og at planlegging derav krever mye tid. Ved bruk av programmer som ALICE kan det fås ut flere alternative fremdriftsplaner på svært kort tid, forutsatt at all nødvendig informasjon er tilgjengelig, og at prosessen

støttes av en kompetent person som har brukt programvaren før. Dersom et menneske skulle ha laget like mange planer som ALICE kan gjøre i løpet av kort tid, ville det trolig tatt flere år.

Mengde informasjon vil typisk øke utover byggeprosessen, etterhvert som eksempelvis prosjektforhold blir kjent forteller Samset (2015). Påfyll av informasjon vil derfor være enklere å inkludere i programvarer som ALICE, ettersom KI automatiserer prosessen og det fås en langt hurtigere oversikt enn hva et menneske vil greie på samme tid. I dagens praksis må planen gjerne kontrolleres manuelt for å undersøke at ny informasjon ikke påvirker oppgaver utilsiktet. Manuelt arbeid kan som regel assosieres med tidkrevende arbeid. Det er altså ikke bare resultatet i form av fremdriftsplanen som kan dra nytte av KI, men også selve planleggingsprosessen. Kunstig intelligens gir med dette gode muligheter for effektiv planlegging.

Datakraft og kompleksitet

Chen m.fl. (2012) forteller at byggeprosjekter gradvis blir større og mer sammensatte når det gjelder både fysisk størrelse, kompleksitet og kostnader. Fra intervjuene ble det trukket frem som en klar fordel at bruk av kunstig intelligens bidrar til å løse kompleksitet. Mennesket er nødt til å bryte ned selv enkle oppgaver i et prosjekt, og det er vanskelig å ta innover seg store datamengder. Får en person mye informasjon på kort tid, er det vanskelig å holde oversikt og kontroll. Bruk av kunstig intelligens kan bidra til å løse dette, ettersom en maskin holder langt bedre kontroll på store datamengder. Dette bekrefter også Mohammadpour m.fl. (2019), ved at kunstig intelligens kan tilby eksepsjonelle fordeler med å øke automatiseringen i bransjen og videre overvinne menneskelige begrensninger i behandling av store datamengder.

(Chassiakos og Sakellaropoulos, 2005) oppgir at etter hvert som byggeprosessen utarter seg, vil enkelte endringer og justeringer av prosjektbegrensninger bli nødvendig. Gjennom intervjuer er det blitt påpekt at uforutsette hendelser og endringer er en stor utfordring i forhold til fremdriftsplanen, og at omgjøring av planer er en krevende og kompleks oppgave. Det er vanskelig for det blotte øye og se alle konsekvensene en endring vil ha for fremdriftsplanen. Derimot kan kunstig intelligens bidra til å fange opp all begrensningene som styrer prosjektet, og sette dette i et system med et nettverk av avhengigheter som gjør at alle prosjektbegrensninger tas høyde for.

Enkelt brukergrensesnitt

En utfordring som ble nevnt under intervjuene var at det opplevdes at kompetansen rundt programvarene som ble benyttet i fremdriftsplanleggingen var for lav. Derfor er det en stor fordel at det gjennom arbeidet med oppgaven ble det observert at programvaren ALICE er enkel og intuitiv å bruke med tanke på GUI. Forfatterne selv fikk som nevnt tidligere ingen opplæring i programvaren, men fikk likevel ut en fremdriftsplan som var realistisk. At programvaren kan betegnes som enkel å bruke, vil gjøre det lettere å oppnå tilstrekkelig kompetanse til å kunne utnytte potensialet til programvaren. Enkelt brukergrensesnitt er også en stor fordel med tanke på implementering av nye verktøy i en bransje som oppfattes som konservativ.

Oppsummering

I det store bildet er fordelene med kunstig intelligens sammenlignet med tradisjonell fremdriftsplanlegging at entreprenører kan spare både tid og penger. Mulighetene ved bruk av kunstig intelligens er både at prosessen for fremdriftsplanlegging kan gå raskere, i tillegg til at programvarene skal kunne optimalisere selve fremdriftsplanene. Dette ved å oppnå for eksempel en raskere byggerekkefølge, lavere kostnader eller mindre risiko. En bedre plan gir mindre byggefeil, som igjen resulterer i bedre kvalitet. Leong m.fl. (2014) gir uttrykk for at prosjekter helt generelt blir målt etter tid, kostnad og kvalitet. Fordelene ved bruk av kunstig intelligens sett i denne oppgaven bunner ned i akkurat dette, nemlig en forbedring av den taktiske ytelsen til prosjekter i form av tre kriteriene i jerntrekanten.

6.2.2 Ulemper ved bruk av kunstig intelligens

Gjennom intervjuene og casestudien ble ulempene med bruk av ALICE og kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging vist i Det er stort samsvar mellom funnene fra intervjuene og casestudien. Derfor er fordelene vist i en tabell for å enkelt kunne kartlagt. I likhet med fordelene er det stort samsvar mellom funnene fra intervjuene og casestudien. Derfor er ulempene vist i en tabell, for å enkelt kunne illustrere likheter og ulikheter i resultatene.

Tabell 15: Oversikt over ulemper hentet fra resultat av intervju og casestudie.

Intervjuer	Caseoppgave
Konservativ byggebransje	
Mangel på tillit til verktøy	Mangel på tillit til verktøyet
Begrenset fornuftig forståelse	Begrenset praktisk forståelse
Krevende bruk	Krevende bruk
Manglende funksjoner ved ALICE	Manglende funksjoner ved ALICE

Konservativ byggebransje

Flere av intervjuobjektene mente at byggebransjen henger etter når det gjelder å ta i bruk nye verktøy. Dette slår også Yeoh m.fl. (2017) fast, ved å konstatere at BAE-næringen til nå har vært motvillige til å ta i bruk automatiserte metoder til å produsere fremdriftsplaner. Dette til tross for at forskningsinteressen for å automatisk generere og optimalisere fremdriftsplaner ifølge Faghihi m.fl. (2015) har eksistert siden begynnelsen av 1960-tallet. Det er altså forståelig at byggebransjen kan oppleves som konservativ og lite villig til å endre seg, og som intervjuobjektene påpekte et vanskelig miljø å endre ting i. Det vil derfor være en utfordring å skulle implementere kunstig intelligens i en bransje som allerede ligger bak på digitaliseringsfronten.

Mangel på tillit til verktøyet

Gjennom både intervju og casestudie kom det klart frem at det å ha tillit til verktøyene kan være en utfordring. Yeoh m.fl. (2017) bekrefter at industrien heller stoler på manuelle metoder, i stedet for automatiserte metoder som de oppfatter at de har liten kontroll og oversikt over. I følge Schia (2019) er dagens arbeidsprosess og programvarer preget av gjennomiktig teknologi, som vil si at det er mennesket som kontrollerer hvordan input blir omformet til output. Fremdriftsplanen er dermed et resultat av menneskelig intelligens, som resulterer i et komfortabelt nivå av forståelse for mennesket ved at det skaper tillit til både teknologien og planen.

Denne utfordringen ble også observert i casestudien, men dette var tross alt en litt mer gjennomiktig prosess ettersom forfatterne manuelt hadde lagt inn all informasjon selv. I tillegg omhandlet caseoppgaven en enkel blokk i råbyggsfasen. Det er klart at det ville føltes mer vanskelig å holde oversikt, og tørre å stole på at programvaren ga realistiske og gjennomførbare planer, dersom flere byggetrinn eller faser hadde vært inkludert. På en annen side er jo nettopp hensikten med en slik programvare å sørge for at store datamengder blir brutt ned til en enkel fremdriftsplan. Det er derfor en ulempe at det må brukes tid på å overvinne menneskelige faktorer. Utfordringen med å overvinne de menneskelige faktorene kan også være en av grunnene til at bransjen henger etter med tanke på implementering av ny teknologi.

Begrenset fornuftig og praktisk forståelse

For at en fremdriftsplan skal være realistisk må den være gjennomførbar. Det kom frem tidlig i intervjuene at det er en ulempe dersom programvaren gir forslag til løsninger og planer som ikke er praktisk gjennomførbare. Dette ble også observert i casestudien. Det hjelper ikke å hurtig få ut en fremdriftsplan som gir en kort totalvarighet, dersom planen foreslår løsninger og aktivitetsrekkefølger som ikke er fornuftige eller gjennomførbare. Dette kan også tidvis observeres i foreslått ressursbruk, ble det belyst gjennom intervjuene.

Altså er det en ulempe at programvarer som ALICE ofte mangler den menneskelige evnen til å vurdere om planen er praktisk gjennomførbar. Dette henger sammen med Eber (2020) sin studie, som forteller at kunstig intelligens har den ulempen at det ikke gir evnen til å prioritere eller bruke kreativitet. Dersom fremdriftsplanen ikke alltid er hensiktsmessig vil dette også påvirke den forrige ulempen, ved at det blir vanskelig å ha tillit verktøyet.

Krevende bruk

Gjennom intervjuene ble det påpekt at opplæring i programvarer som ALICE ofte gir en bratt læringskurve, og at bruk i oppstarten kan oppleves som tidkrevende. Forfatterne er til dels enige i dette, da det i ALICE krever tid med å blant annet klargjøre modell, tilegne «supports» og lage oppskrifter. Det opplevdes imidlertid ikke som uoverkommelig, spesielt tatt i betraktning at det ikke ble gjennomført noen opplæring for forfatterne. Det er likevel klart at casestudien har ulike

forutsetninger for bruk av programvaren enn et reelt prosjekt, hvor eksempelvis alle oppskrifter måtte ha blitt koordinert med underentreprenører for at de skulle vært helt valide.

Det som imidlertid opplevdes mer utfordrende, var ulike funksjoner og «logikker» som måtte læres i programmet. Det er ikke alltid like enkelt å forstå hvordan det er mulig å jobbe seg rundt eventuelle hindringer som oppstår. Ettersom bruk av programmet ikke alltid oppleves som smertefri, kan dette også føre til at resultatet blir dårligere. Altså kan dette være en av grunnene til at programvarene ikke alltid gir hensiktsmessige resultater. I et større perspektiv er det i tillegg klart at det ikke er «automagisk» å legge inn informasjon i en programvare, og forvente at den skal generere en perfekt fremdriftsplan for deg. Det er nødvendig at systemer og rammeverk for planlegging er til stede.

Manglende funksjoner

I tillegg til de nevnte ulempene, ble det gjennom arbeidet med oppgaven identifisert flere manglende funksjoner ved programvaren ALICE. Det var imidlertid flere av funksjonene som intervjuobjektene savnet som var på plass når forfatterne gjennomførte casestudien. Det viser at programvaren er i kontinuerlig utvikling. Eksempelvis ble funksjonen for å importere «recipes» fra et Excel-ark som en av informantene ønsket, plutselig tilgjengelig under arbeidet med casestudien. Dette kan også være en grunn til at programvaren ikke er tatt i bruk av så mange norske entreprenører enda, ettersom programvarer som ALICE er nye på markedet og derfor heller ikke er ferdigutviklet.

Oppsummering

De nevnte ulempene er altså begrunnelser for hvorfor bransjen ikke bruker kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging i dag, og også vil ha utfordringer med å implementere det. Ulempene henger tett sammen. Manglende funksjoner og krevende bruk fører til at programvarer som ALICE ikke alltid gir ut hensiktsmessige planer. Uten hensiktsmessige planer vil det være vanskelig å få tillit til verktøyet. Videre vil det uten tillit til verktøyet være vanskelig å implementere teknologien i byggebransjen, som det allerede ryktes at henger bakpå i forhold til digitalisering. Ulempene kan altså tolkes som en kjedereaksjon, der ulemper på programvarenivå påvirker bransjen i sin helhet.

6.3 Forutsetninger for bruk av KI

Forutsetningene som ble kartlagt i resultatkapitlene er delt i fem hovedkategorier; aktører, nytteverdi, teknologi, prosjekttype og prosjektteam. I dette kapittelet presenteres det en tabell for hver av disse hovedkategoriene, for å enklere skape oversikt og sammenstille resultatene som er funnet. Videre drøftes funnene med bakgrunn i teori, intervju og casestudie.

6.3.1 Aktører

For aktørene i bransjen ble forutsetningene vist i Tabell 16 identifisert.

Tabell 16: Forutsetninger for aktører

Aktører	
Byggherre	
Prosjekterende	Grunnlag fra prosjekterende
Entreprenør	

Gjennom intervju og casestudie kom det frem enkelte forutsetninger som ulike aktører i bransjen bør legge til rette for. Det ble påpekt at det kan oppleves som utfordrende å ta i bruk programvare som benytter KI under fremdriftsplanlegging, dersom det mangler insentiver eller krav for å gjøre dette enten fra byggherre, eller fra ledelsen hos en entreprenør. Det er vanskelig å bekrefte dette med bakgrunn i resultatene fra casestudien. Det er likevel naturlig å tenke at det vil være enklere å implementere denne type programvare dersom ledelsen tilrettelegger for det.

De ulike programvarene baserer seg på input, for eksempel i form av BIM. Det ble presisert av intervjuobjektene at kvaliteten på output fra en programvare er direkte avhengig av kvaliteten på input. Dersom underlaget fra de prosjekterende ikke blir klart i tide, vil ikke bygningsinformasjonsmodellen inneholde rett informasjon. Det er derfor en stor ulempe at prosjekteringen i dag ligger så tett opp mot produksjon, ettersom det kan forsinke grunnlaget som må være klart for å kunne bruke slike programvarer. Det forutsettes derfor at grunnlaget fra de prosjekterende må være mer eller mindre ferdig for å kunne ta i bruk slike programvarer. Generelt er det altså en forutsetning at aktørene i bransjen må tilrettelegge for bruk av KI i fremdriftsplanlegging.

6.3.2 Nytteverdi

Tabell 17 viser forutsetninger som bør være tilstede for at entreprenører skal oppleve nytteverdi.

Tabell 17: Forutsetninger for nytteverdi

Nytteverdi	
Brukervennlighet og troverdighet	Troverdighet
Gode resultater	
Kost-nytte	

Entreprenører i byggebransjen vil kun ta i bruk et nytt verktøy dersom verktøyet kan gi dem god nok nytteverdi. Det vil si at en entreprenør ikke vil ta i bruk kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging, med mindre det kan gi mer nytteverdi enn det som oppnås ved bruk av tradisjonelle metoder. For at et program som bruker KI i fremdriftsplanlegging i det hele tatt skal ha en nytteverdi, er det ifølge intervjuobjektene tre ting som må være til stede.

For det første er det essensielt at programmet har høy brukervennlighet og et forståelig brukergrensesnitt. Det er også en forutsetning at programmet gir troverdig output. En av de største ulempene som ble nevnt var å få folk til å stole på programmene som bruker kunstig intelligens, og derfor er det vesentlig at det som fås ut faktisk er pålitelig. Videre må programmet kunne vise til vellykkede og gode resultater, for å kunne bevise at programmet kan gi mer nytteverdi enn det som oppnås ved tradisjonelle metoder. Som regel kreves det tidligere suksesshistorier fra andre prosjekter, for at andre skal ønske å ta nye verktøy i bruk.

Sist men ikke minst må begrepet kost-nytte diskuteres, ettersom blant annet programvaren ALICE er svært kostbar. Samset (2015) forteller at den taktiske ytelsen i prosjekter er et uttrykk for om prosjektet har lyktes i å levere prosjektets resultater som avtalt. Ofte kan tid, kostnad og kvalitet betegnes som grunnpilarer for å vurdere om prosjektet har lyktes med dette. Derfor må programvareleverandørene kunne vise at prosjekter vil se en gevinst i forhold til disse tre kriteriene. Dette ved at bedriften kan spare tid, kostnad eller øke kvaliteten av resultatet. Alt i alt handler nytteverdi om at entreprenørene må få et utbytte av å bruke programvaren, og at dette utbyttet må være større enn det de opplever ved hjelp av tradisjonell fremdriftsplanlegging.

6.3.3 Teknologi

I forbindelse med teknologi ble forutsetningene vist i Tabell 18 identifisert.

Tabell 18: Forutsetninger for teknologi

Teknologi	
BIM	Riktig filformat
Data	Tilgang på data
Standardisert bruk	Standardisering av oppskrifter
Kompatibilitet	Kompatibilitet

Kunstig intelligens er ny og avansert teknologi for byggebransjen. Implementering av programvare som bruker kunstig intelligens vil derfor sette krav til den eksisterende teknologien som brukes i bransjen idag. BIM har flere grunner til å måtte være en presis, virtuell representasjon av det byggverket som skal reises. Ekstra viktig er det likevel i dette tilfellet, når informasjonen i

modellen skal tas i bruk av kunstig intelligens som ikke evner å bruke menneskelig intuisjon til å vurdere modellen er riktig. Dette presiserer også Eber (2020), som forteller at KI verken har evne til å prioritere eller bruke kreativitet.

Med bruk av mer avansert teknologi og spesielt maskinlæring, må det også settes krav til dataen som produseres i byggeprosjektene i dag. Eber (2020) forteller at flere undersøkelser viser at verken erfaringer eller kunnskap fra byggeprosjekter blir dokumentert, verken i strukturert eller ustrukturert form. Også intervjuobjektene mente at det er stor mangel og dårlig kvalitet på mye av dataen som den norske byggebransjen sitter på i dag. Videre vil bruken av ny teknologi gjøre at entreprenører må ha et rammeverk på plass for å få ordentlig utbytte av programvaren. For programvaren ALICE vil det eksempelvis gjelde standardisering av oppskrifter, slik at det vil være enkelt å gjenbruke disse fremfor å måtte lage nye hver gang.

Det er derfor en forutsetning at bransjen må fokusere på å oppfylle nye krav som vil settes til bruk av teknologi. Dette i form av at bygningsinformasjonsmodeller må bli bedre, at det må samles inn mer data, og at bruken av nye verktøy bør standardiseres. Videre må programvareleverandør tenke på at dette er ny teknologi som skal implementeres i en allerede veletablert bransje. Det gjør at entreprenører vil forvente at programvaren er kompatibel med andre verktøy som allerede brukes i bransjen i dag, for eksempel MS Project. Det er altså en forutsetning at programvareleverandørene legger til rette for kompatibilitet med andre verktøy.

6.3.4 Prosjekttype

For prosjekttype ble forutsetningene vist i Tabell 19 kartlagt. Disse forutsetningene gjelder hovedsakelig bruk av programvaren ALICE.

Tabell 19: Forutsetninger for prosjekttype

Prosjekttype	
Type prosjekt	
Kompleksitet	Kompleksitet
Prosjektfase	

For at programvarer som ALICE skal gi størst mulig utbytte bør det tas hensyn til prosjektkarakteristika. I intervjuene kom det frem at flere hadde større tro på for eksempel nybygg enn rehabiliteringsprosjekt ved bruk av ALICE. Videre ble det gjennom intervjuene belyst at kompleksitet hadde en avgjørende rolle. Kompleksitet i form av eksempelvis størrelse på prosjekt, krevende byggemetoder eller antall fagarbeidere gjør at programvaren får både flere angrepspunkt, og mer informasjon å forholde seg til.

Det ble observert i casestudien ved at ALICE tilsynelatende ikke fikk mange nok angrepspunkter å arbeide med, og det derfor resulterte i lite variasjon i de ulike fremdriftsplanene som ble foreslått. Dette hadde sammenheng med at det kun ble sett på råbyggfasen, og det dermed blant annet var for få elementer, for få aktører, samt fysiske lover som begrenset programmet. ALICE fikk også for lite handlefrihet med hensyn til soneinndeling og grupperinger. Altså er det en forutsetning at prosjektet og modellen bør inneha noe kompleksitet for at programvaren skal få nok handlingsrom, og dermed mulighet til å oppnå mer optimaliserte planer enn ved tradisjonell planlegging.

Det kan også diskuteres om de ulike programvarene vil egne seg best i en spesiell prosjektfase. Flere informanter mente at ALICE vil fungere best i anbudsfasen. Eikeland (2001) forteller at prosjekteringen ofte vil ha en glidende overgang med produksjonsfasen, og som nevnt kan dette ha konsekvenser for grunnlaget som programvarene trenger. I anbudsfasen vil ikke den samme utfordringen oppstå, og ALICE kan da fungere som en god mulighet til å raskt analysere ulike fremdriftsplaner. I tillegg fungerer ALICE dårlig til oppfølging og endringer. Det er derimot usikkert hvilken fase andre programvarer vil lønne seg best i. Eksempelvis er Kwant.ai mer rettet mot produksjonsfasen. Likevel kan det sies at noen programvarer fungerer bedre for noen prosjekttypen eller -faser, og at det er en forutsetning at entreprenører bør ta hensyn til dette.

6.3.5 Prosjektteam

Med hensyn til prosjektteamet ble forutsetningene vist i Tabell 20 identifisert.

Tabell 20: Forutsetning for prosjektteam

Prosjektteam	
Teknologisk forståelse	Teknologisk forståelse
Erfaring med fremdriftsplanlegging	Erfaring med byggeprosess og fremdrift
Motivert og innarbeidet prosjektteam	

Både gjennom intervjuene og casestudien kom det frem at kompetansen og motivasjonen i et prosjektteam vil være svært viktig ved bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging. For det første bør de som faktisk skal bruke programmet ha generell teknologisk kompetanse og forståelse. Videre er prosjektet nødt til å ha med noen som har erfaring med fremdriftsplanlegging og byggeprosesser. Dette både for å vite hva som er riktig å legge inn i programvaren, og for å vite om det som kommer ut er realistisk og hensiktsmessig. Behovet for kompetanse om byggeprosesser og fremdriftsplanlegging fikk forfatterne selv erfare under casestudien, ved at det ville vært svært vanskelig å bruke programvaren uten støtte fra en representant fra NærByen.

Det ble derfor tydelig gjennom arbeidet med oppgaven at det må poengteres at kunstig intelligens ikke kan ta over for mennesket ved utarbeiding av fremdriftsplaner. Dette i samsvar med begrepet utvidet intelligens (eng: augmented intelligence). Rouse (2018) forteller at utvidet intelligens fokuserer på den assisterende rollen til KI, for å understreke at teknologien skal forbedre og forsterke den menneskelige intelligensen fremfor å erstatte den. Slikt teknologien fungerer i dag er det fortsatt mennesket som til syvende og sist må ta beslutningene. Derfor er det viktig å fremheve at dette også gjelder for programvarene funnet i denne oppgaven. Verktøyene bør, og vil, kun ha en assisterende rolle, og eksisterer med den hensikt om å hjelpe mennesket til å jobbe bedre og smartere.

Det fremkom også av intervjuene at det er essensielt at prosjektteamet består av motiverte mennesker. Prosjektteamet må samtidig ha nok kapasitet til å sette av tid og ressurser for å teste ut programvaren ordentlig. Det er ikke noe poeng i å gjøre halvhjertede forsøk ved testing av programvarer som ALICE, da disse verktøyene ofte er kostbare. Et riktig sammensatt og motivert prosjektteam er derfor en forutsetning for at byggebransjen skal kunne implementere kunstig intelligens i fremtidige prosjekter. Sammensetningen av prosjektteamet vil altså være like viktig som ved tradisjonell fremdriftsplanlegging.

6.3.6 Oppsummering

Det er altså flere forutsetninger som bør være til stede for at entreprenører skal bruke kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i fremtiden. Dette gjelder blant annet hvordan aktørene bør tilrettelegge for dette, og at entreprenørene er nødt til å kunne se et utbytte dersom programmene benyttes. I tillegg setter ny teknologi nye krav til den eksisterende teknologien som brukes i bransjen i dag. Dette med tanke på både BIM og data, og i forhold til både mengde og kvalitet. Det er også flere karakteristika i et prosjekt som bør være til stede for å mest mulig utbytte av enkelte programvarer. Avslutningsvis vil sammensetningen av prosjektteamet være like viktig ved bruk av kunstig intelligens som ved tradisjonell fremdriftsplanlegging, da motivasjon samt erfaring med både byggeprosesser og fremdriftsplanlegging er helt essensielt.

7 Konklusjon

Dette kapittelet presenterer konklusjon som har til hensikt å trekke ut de viktigste funnene fra diskusjonskapittelet, for å kunne besvare masteroppgavens forskningsspørsmål. Kapittelet følger samme struktur som tidligere kapitler i oppgaven, og derav blir hvert forskningsspørsmål besvart hver for seg.

Masteroppgaven har sett nærmere på bruk av programvarer som benytter kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging. Gjennom litteraturstudie, semistrukturerte intervju, uformelle intervju og en casestudie, er det utvekslet erfaringer og innhentet kunnskap for å kunne besvare oppgavens forskningsspørsmål. Både objektiv og subjektiv data er innhentet for å analysere funnene i oppgaven, med hensyn til den norske byggebransjen.

Opgavens forskningsspørsmål er:

1. Hvordan kan kunstig intelligens brukes i fremdriftsplanlegging?
2. Hva er fordeler og ulemper med å utarbeide fremdriftsplaner ved hjelp av kunstig intelligens, sammenlignet med tradisjonell fremdriftsplanlegging?
3. Hvilke forutsetninger bør være til stede for at totalentreprenører skal ta i bruk kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i fremtidige prosjekter?

7.1 Bruk av KI i fremdriftsplanlegging

I oppgaven er det vist hvordan ulike programvarer som benytter kunstig intelligens kan brukes i fremdriftsplanlegging. Generelt har det vært tydelig at det finnes svært lite erfaring med KI i fremdriftsplanlegging i den norske byggebransjen, og at dette på ingen måte er implementert hos entreprenører i dag. Likevel har det allerede kommet flere aktører på det internasjonale markedet som tilbyr programvare med stort potensiale for å kunne forbedre og videreutvikle dagens praksis for fremdriftsplanlegging.

Det er kartlagt seks ulike programvarer; ALICE, nPlan, Kreo Plan, InEight Schedule, Kwant.ai og Holte Fremdrift. Ett av programmene, ALICE, er testet i Norge av tre ulike entreprenører, og har dermed allerede en fot innenfor det norske markedet. Videre er det norskproduserte programmet Holte Fremdrift under utvikling idag. Dette er et annet synlig tegn på at bruk av KI i fremdriftsplanlegging gjør et økende inntog i Norge.

De seks ulike programvarene har svært forskjellige angrepspunkt og tilnærming i forhold til temaet kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging. Dette viser at KI har et stort bruksområde og kan bidra til å løse mange ulike utfordringer ved dagens praksis for utarbeidelse av fremdriftsplaner. Hva som er mest nyttig er i stor grad avhengig av faktorer som bedriftens behov, prosjektets fase og tilgjengelig data. I tillegg er programvarene relativt nye, som tyder på at det er økt interesse og etterspørsel for denne typen programvarer i dag.

7.2 Fordeler og ulemper ved bruk av KI

Det har gjennom oppgaven blitt kartlagt flere fordeler og ulemper med å utarbeide fremdriftsplaner ved hjelp av kunstig intelligens, sammenlignet med tradisjonell fremdriftsplanlegging. Det var stort samsvar mellom funnene fra både intervjuene og casestudien, som gjorde at resultatene kunne samles og kategoriseres som totalt fem fordeler og fem ulemper. Disse er:

<u>Fordeler</u>	<u>Ulemper</u>
<ul style="list-style-type: none">• Flere, optimaliserte og detaljerte planer	<ul style="list-style-type: none">• Konservativ byggebransje
<ul style="list-style-type: none">• Realistiske og gode indikasjoner	<ul style="list-style-type: none">• Mangel på tillit til verktøy
<ul style="list-style-type: none">• Mulighet for effektiv planlegging	<ul style="list-style-type: none">• Begrenset fornuftig og praktisk forståelse
<ul style="list-style-type: none">• Datakraft og kompleksitet	<ul style="list-style-type: none">• Krevende bruk
<ul style="list-style-type: none">• Enkelt brukergrensesnitt	<ul style="list-style-type: none">• Manglende funksjoner ved ALICE

De fem fordelene handler i stor grad om at entreprenører ved hjelp av kunstig intelligens vil ha mulighet til å spare både tid og penger, og oppnå bedre kvalitet på planene sine, sammenlignet med det som oppnås ved tradisjonell fremdriftsplanlegging. Ulike programvarer tilbyr utarbeidelse av optimaliserte, detaljerte og realistiske planer, med mulighet til å utforske flere strategier. Dette for å oppnå for eksempel en raskere byggeprosess, lavere kostnader eller mindre risiko i prosjektet.

Bruk av kunstig intelligens fører også til økt automatisering som resulterer i en mer effektiv planleggingsprosess. Det vil si at KI muliggjør økt effektivisering i både fremdriftsplaner og fremdriftsplanlegging. Videre kan kunstig intelligens behandle kompleksitet og store datamengder langt bedre enn mennesket kan. Et enkelt brukergrensesnitt er også en fordel for en bransje som har generell mangel på høy nok IT-kompetanse. Samlet er det tydelig at fordelene kretser rundt den taktiske ytelsen til prosjekter i form av kriteriene tid, kostnad og kvalitet.

De fem ulempene har i all hovedsak beskrevet hvorfor bransjen ikke bruker kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i dag, og vil ha utfordringer med å implementere dette i fremtiden. Ulempene kan tolkes som en kjedereaksjon, der ulemper på programvarenivå påvirker videre implementering i bransjen generelt. Manglende funksjoner og krevende bruk omhandler at det vil være utfordrende å lære alle funksjoner for å få maksimalt utbytte av programvaren. Kombinasjonen av dette og at programvare som benytter KI kan ha en begrenset praktisk forståelse, fører til at programvarer som ALICE ikke alltid gir ut hensiktsmessige planer.

Uten hensiktsmessige planer vil det være vanskelig å få tillit til verktøyet. Dette kommer også av at det er vanskeligere å stole på KI enn tradisjonelle metoder som er mer gjennomsluktige. Ved mangel tillit til verktøyet vil det være vanskelig å implementere teknologien i byggebransjen, som det allerede ryktes henger bakpå i forhold til digitalisering. Ulempene viser med dette at det er flere grunner til at byggebransjen i dag foretrekker de tradisjonelle metodene, fremfor nye verktøy som benytter kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging.

7.3 Forutsetninger for bruk av KI

For at totalentreprenører skal ta i bruk kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i fremtidige prosjekter er det flere forutsetninger som bør være til stede. Forutsetningene som er kartlagt i denne oppgaven ble kategorisert i en rekkefølge som beveger seg fra organisatorisk nivå og ned til prosjektnivå. De totalt fem kategoriene er:

- Aktører
- Nytteverdi
- Teknologi
- Prosjekttype
- Prosjektteam

«Aktører» handler om hvordan byggherre, prosjekterende og entreprenører bør legge bedre til rette for bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging. Det vil være mer utfordrende å ta i bruk denne typen programvare dersom det mangler insentiver eller krav for å gjøre dette, enten fra byggherre eller ledelsen hos en entreprenør. I tillegg er det en forutsetning at grunnlaget fra de prosjekterende bør være mer eller mindre ferdig for å kunne ta i bruk KI i fremdriftsplanlegging. For at det skal være enklere å implementere ny teknologi og KI i byggebransjen, må altså aktørene i bransjen vurdere å gjøre tiltak som kan støtte oppunder dette.

«Nytteverdi» tar for seg at entreprenørene må få et utbytte av å bruke programvaren, og at dette utbyttet må være større enn det de opplever ved hjelp av tradisjonell fremdriftsplanlegging. Da er det en forutsetning at programvaren er brukervennlig og troverdig, for at brukeren skal klare å stole på resultatene. I tillegg kreves det at programvareleverandøren kan vise til vellykkede resultater, og ikke minst at de kan bevise at nytten er større en kostnaden. Det vil si at programvareleverandøren må kunne vise at prosjekter vil oppleve gevinst i forhold til tid, kostnad og kvalitet.

«Teknologi» dreier seg om at kunstig intelligens er ny og avansert teknologi for byggebransjen. Implementering av programvare som bruker kunstig intelligens vil derfor sette krav til den eksisterende teknologien som brukes i bransjen i dag. Dette med tanke på både BIM og data, og i forhold til både mengde og kvalitet. I tillegg bør entreprenører ha et rammeverk for bruk av programmene, for å få ordentlig utbytte. Det er også en forutsetning at programvareleverandørene legger til rette for kompatibilitet med andre verktøy.

«Prosjekttype» tar for seg karakteristika som bør være tilstede i et prosjekt, for å få størst mulig utbytte av programvarene. For eksempel bør prosjektet og modellen inneha noe kompleksitet for at ALICE skal få nok handlingsrom, og dermed mulighet til å oppnå mer optimaliserte planer enn ved tradisjonell planlegging. Flere av intervjuobjektene opplevde i tillegg at ALICE egnet seg bedre for bruk i anbudsfasen. Det kan derfor anses som en forutsetning at entreprenører må ta hensyn til at de ulike programmene kan fungere bedre for noen prosjekttyper eller -faser.

«Prosjektteam» handler om at sammensetningen av prosjektteamet vil være svært viktig. Prosjektet er nødt til å ha med seg teknologisk kunnskap, erfaring med både byggeprosesser og fremdriftsplanlegging, samt motivasjon til å bruke programvarene. Det ble derfor tydelig at kunstig intelligens ikke kan ta over for mennesket ved utarbeiding av fremdriftsplaner, og at en forutsetning er et riktig sammensatt og motivert prosjektteam.

8 Videre arbeid

Dette kapitlet har til hensikt å presentere forslag til videre arbeid for byggenæringen eller andre studenter. Forslagene tilknyttes funn som har dukket opp underveis som kunne vært interessant og sett nærmere på, samt endring av enkelte avgrensninger denne oppgaven har hatt.

Innsamling og strukturering av data

Ikke alle de nevnte programvarene bruker maskinlæring og historisk prosjektdata for å fungere. Det er likevel ikke til å komme bort i fra at byggebransjen har et enormt behov for å samle inn og strukturere data i en langt større grad enn hva som gjøres i dag.

Andre aktører

I oppgaven har fokuset vært på totalentreprenører og programvareleverandører. Det kunne derfor vært spennende å se på hvordan andre aktører kan ha nytte av å bruke kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging, eksempelvis byggherre.

Arbeidsprosess

De ulike programvarene som er presentert i oppgaven krever en noe forskjellig arbeidsprosess. Eksempelvis vil forskjellen i om programvaren skaper fremdriftsplanen, eller analyserer en plan som er manuelt utarbeidet, naturligvis ha utslag for hvilken effekt kunstig intelligens har på fremdriftsplanlegging. Det ville derfor vært interessant og sett nærmere på forskjellen i arbeidsprosess ved implementering av en av de andre programvarene, og gjerne sammenligne.

Fremdriftsplanlegging under andre faser

I denne oppgaven er det hovedsakelig fokusert på programvarer som skaper fremdriftsplaner i forkant av gjennomføring. Flere av programvarene tilbyr også ulike muligheter for oppfølging eller endring under gjennomføring, da en fremdriftsplan i et byggeprosjekt sjeldent kan følges til punkt og prikke uten at det forekommer uforutsette endringer.

Andre programvarer eller prosjektyper

Det finnes flere andre programvarer som også bruker kunstig intelligens under fremdriftsplanlegging. For en annen studie hadde det vært interessant å undersøke resultater som fås ved å benytte en annen programvare, og gjerne sammenlignet mot casestudien for denne oppgaven. Det hadde også vært interessant å se hvordan ALICE ville ha fungert for ulike typer prosjekter, med varierende kompleksitet og utforming.

Pålitelighet til programvare som benytter KI

Det er allerede gjennomført oppgaver som på generell basis undersøker hvordan mennesket stiller seg til å ta i bruk kunstig intelligens for å ta større beslutninger, og faktisk stole på det. Det hadde likevel vært interessant å fokusere spesifikt på hvordan fagarbeidere og andre på byggeplassen hadde forholdt seg til planene som hadde blitt skapt av datamaskiner.

Referanser

- Abuwarda, Z., Hegazy, T., 2016. Work-Package Planning and Schedule Optimization for Projects with Evolving Constraints.
- AF Gruppen, n.d. Boligutvikling i Bjørvika. Hjemmeside for boligprosjekt.
- Alice Technologies, 2020. Construction Information Model (CIM) Guide (Guide No. Versjon 3). Alice Technologies, USA.
- Aljebory, K.M., QaisIssam, M., 2019. Developing AI Based Scheme for Project Planning by Expert Merging Revit and Primavera Software.
- Alphonso, P., 2019. ALICE Technologies uses AI to solve construction scheduling challenges. Biltrax Media.
- Amratia, D., 2019. How nPlan uses machine learning to solve construction's biggest problem in 2019.
- Arksey, H., O'Malley, L., 2007. Scoping Studies: Towards a methodological framework. *Int. J. Social Research Methodology* 8, 19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Autodesk, 2018. Revit IFC manual - Detailed instructions for handling IFC files (Manual). Autodesk, USA.
- Autodesk Revit, 2020. Programvare for modellering av bygningsinformasjon. Autodesk, Norway.
- Bølviken, T., 2012. On the Categorization of Production: The Organization-Product Matrix. Presented at the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, International Group for Lean Construction, San Diego, USA.
- Branscombe, M., 2018. How AI could revolutionize project management.
- Brodshaug, M., 2019. Finne kilder. Norges Teknisk-vitenskapelige Universitet, Trondheim.
- BuildingSMART, 2019. BuildingSMART Norge.
- BuildingSMART, 2014. buildingSMART Datamodell.
- Bygg21, 2015. Veileder for fasenormen "Neste Steg" - Et felles rammeverk for norske byggeprosesser. (Veileder Bygg21). Norway.
- Chassiakos, A.P., Sakellaropoulos, S.P., 2005. Time-Cost Optimization of Construction Projects with Generalized Activity Constraints. Presented at the Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Greece. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:10\(1115\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:10(1115))
- Chen, S.-M., Griffis, F.H., Chang, L.-M., 2012. Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling. Presented at the Automation in Construction, Elsevier, USA, pp. 99–113. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.018>
- Corbin, J., Strauss, A., 2008. Basics of qualitative research: Techniques and procedures for

developing grounded theory, 3rd ed.

Dahlum, S., 2019a. Kvantitativ metode (Leksikon). Store Norske Leksikon (SNL), Norway.

Dahlum, S., 2019b. Kvalitativ metode (Leksikon). Store Norske Leksikon (SNL), Norway.

Dahlum, S., 2018. Case-studie (Leksikon). Store Norske Leksikon (SNL), Norway.

Dalland, O., 2012. Metode og oppgaveskriving for studenter, 5. utgave. ed. Gyldendal akademisk, Oslo.

Eber, W., 2020. Potentials of artificial intelligence in construction management. Presented at the Organization, Technology & Management in Construction, De Gruyter Poland, Zagreb, pp. 2053–2063. <https://doi.org/10.2478>

Eikeland, P.T., 2001. Teoretisk analyse av byggeprosessen (Masteroppgave v/NTNU).

Elsevier, n.d. ScienceDirect Search Guide.

Faghihi, V., Nejat, A., Reinschmidt, K.F., Kang, J.H., 2015. Automation in construction scheduling: a review of the literature. Presented at the The International Journal of Advanced Manufacturing Technology volume, USA, pp. 1845–1856. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7339-0>

Forskningsrådet, 2020. Intervju. Encyklopedi.

Fulop, N., Allen, P., Clarke, A., Black, N., 2001. Studying the Organisation and Delivery of Health Services: Research Methods. Taylor & Francis Books Ltd.

Gilner, E., Galuszka, A., Grychowski, T., 2019. Application of Artificial Intelligence Methods in Sustainable Building Design. Presented at the 19th International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA, Springer Verlag, Saint Petersburg, pp. 408–417. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24289-3_30

Grant, M.J., Booth, A., 2009. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. Presented at the Health Information and Libraries Journal, United Kingdom, pp. 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>

Graphisoft, n.d. Archicad. Graphisoft.

Halleraker, S., 2014. Fremdriftsplanlegging i bygge- og anleggsbransjen (Masteroppgave). Norges teknisk-vitenskapelige universitet, Trondheim, Norge.

Hansen, T.I., 2019. Forskning. Store Norske Leksikon (SNL), Norway.

Helgesen, C., Næss, T., 2012. Måling av arbeidsflyt i byggproduksjon (Masteroppgave). Universitetet i Agder (UIA), Grimstad.

Helse Stavanger, n.d. SUS2023 Sykehusutbygging.

Hong, D., 2017. 4D BIM fremdriftsplanlegging4D (Masteroppgave v/UiT). Norges artiske universitet (UiT), Tromsø, Norway.

- Hsu, H.-C., Chang, S., Chen, C.-C., Wu, I.-C., 2020. Knowledge-based system for resolving design clashes in building information models. Presented at the Automation in construction, Elsevier B.V., p. Artikkelnr 103062. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103001>
- InEight, u.d. INEIGHT SCHEDULE OVERVIEW. USA.
- InEight Schedule, 2019. REALISTIC PLANS WITH INEIGHT. InEight, USA.
- Jackson, B.J., 2010. Construction Management JumpStart, 2nd ed. Wiley Publishing Inc, Canada.
- Jones, K., 2019. The Promise of Artificial Intelligence in Construction.
- K. W. Yeoh, J., Nguyen, T.Q., L. S. Abbott, E., 2017. Construction Method Models Using Context Aware Construction Requirements for Automated Schedule Generation. Presented at the ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, ASCE. <https://doi.org/10.1061/9780784480847.008>
- Klakegg, O.J., Torp, O., 2018. Bygg21 Usikkerhetsstyring og samhandling i byggeprosjekter (Styringsdokument). ProsjektNorge, Trondheim.
- Knotten, V., 2018. Building design management in the early stages (Doktorgradsavhandling). Norges teknisk-vitenskapelige universitet, Trondheim, Norge.
- Kreo Plan, n.d. Kreo Plan. Kreo, United Kingdom.
- Kwant, u.d. Lean Scheduling.
- Kwant, n.d. Kwant. Kwant.ai, New York, USA.
- Lædre, O., 2014. Kontraktstrategi for bygg- og anleggsprosjekter, 1st ed. Fagbokforlaget.
- Larsen, A.K., 2007. En enklere metode: veiledning i samfunnsvitenskapelig forskningsmetode, Fagbokforlaget. ed.
- Larsen, B.B., 2015. Moores lov. Store Norske Leksikon (SNL), Norway.
- Leong, T.K., Zakun, N., Saman, M.Z.M., 2014. Using Project Performance to Measure Effectiveness of Quality Management System Maintenance and Practices in Construction Industry. The Scientific World Journal, Malaysia. <https://doi.org/10.1155>
- Levitt, R.E., Kartam, N.A., Kunz, J., 1988. Artificial Intelligence Techniques for Generating Construction Project Plans. Presented at the Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Stanford, United Kingdom. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1988\)114:3\(329\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1988)114:3(329))
- Levy, O.J., Skjærstad, E.M., 2017. Fremdriftsplanlegging i totalentrepriser (Masteroppgave). Norges teknisk-vitenskapelige universitet.
- Maravas, A., Pantouvakis, J.P., 2012. A Process for the Estimation of the Duration of Activities in Fuzzy Project Scheduling. Presented at the First International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis and Management (ICVRAM 2011); and Fifth International Symposium

on Uncertainty Modeling and Analysis (ISUMA), ASCE, Athen, Greece.
[https://doi.org/10.1061/41170\(400\)8](https://doi.org/10.1061/41170(400)8)

Mohammadpour, A., Karan, E., Asadi, S., 2019. Artificial Intelligence Techniques to Support Design and Construction. Presented at the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), ISARC, USA. <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0172>

Mosca, A., 2020. On the effect of Black Swans on projects.

Mubarak, S., 2010. Construction Project Scheduling and Control. Pearson Education, Hoboken, New Jersey.

Nærbyen, 2020. Nærbyen. Hjemmeside for boligprosjekt.

Oprach, S., Steuer, D., Krichbaum, V., Haghsheno, S., 2019. Smart data - Dealing with task complexity in construction scheduling. Presented at the IGLC, Scopus.
<https://doi.org/10.24928/2019/0155>

Oracle, u.d. Powerful Tools for Global Project Planning. Oracle.

Pandey, H., 2020. Introduction to Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning and Data Science.

PMI, 2008. What is Project Management?

Prajapati, N., 2020. Construction Information Model (CIM) guidelines, in: Knowledge Case ALICE - Support & Learning. Alice Technologies.

Rao, S., 2019. The Benefits of AI In Construction.

Reese, H., 2017. Understanding the differences between AI, machine learning, and deep learning.

Roberts, K., 2019. What is Augmented Intelligence and why should you know about it?

Roedel, H., 2018. Why is scheduling in construction broken? Medium.

Rouse, M., 2018. augmented intelligence.

Røykenes, K., 2009. Metodetriangulering – et metodisk minefelt eller en berikelse av fenomener?
<https://doi.org/10.4220>

Salehi, H., Bugueno, R., 2018. Emerging artificial intelligence methods in structural engineering. Presented at the Engineering Structures, USA, pp. 170–189.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.084>

Samset, K., 2015. Prosjekt i tidligfasen, 2nd ed. Fagbokforlaget, Bergen.

Sander, K., 2020a. Fremdriftsplan.

Sander, K., 2020b. Prosjekttrekanten.

Sander, K., 2020c. Critical Path Method.

Sander, K., 2019. Forskningsdesign.

- Schia, M.H., 2019. The Introduction of AI in the Construction Industry and its Impact on Human Behavior.
- Streule, T., 2016. Implementation of Scrum in the Construction Industry.
- Sun, M., Meng, X., 2009. Taxonomy for change causes and effects in construction projects. Presented at the International Journal of Project Management, Elsevier, United Kingdom, pp. 560–572. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.10.005>
- Temu, R., Valtonen, V., 2020a. Elements of AI.
- Temu, R., Valtonen, V., 2020b. Problemløsning ved hjelp av kunstig intelligens (Del 2).
- Temu, R., Valtonen, V., 2020c. Nevrale nettverk (Del 5).
- Temu Roos, Valtonen, V., 2020. Hva er kunstig intelligens (Del 1).
- Tidemann, A., 2020. Kunstig intelligens. Store Norske Leksikon (SNL), Norway.
- Tjora, A., 2017. Kvalitative forskningsmetoder i praksis. Gyldendal Norsk Forlag.
- Tranvik, T., 2005. Kvalitative intervjuer og observasjon.
- Veidekke, 2020. NærByen. Salgsannonse.
- Veidekke, 2018. Veidekke bygger Nærbyen senter i Trondheim. Veidekke.
- Veidekke AS, Holte AS, Entra ASA, 2019. Quality and learning in construction production (QLCP) - An innovation project in the Norwegian construction industry 2016-2019 (Prosjektrapport).
- Yin, R.K., 2014. Case Study Research and Applications, 5th ed. SAGE Publications.
- Young, T., 2018. 15 Machine Learning Companies To Watch In Europe. Forbes.

Vedlegg

Vedlegg A - Oversikt litteratursøk

- A.1 - Oversikt litteratursøk
- A.2 - Oversikt over kartlagt litteratur
- A.3 - Evaluerte referanser

Vedlegg B - Intervjuguider

- B.1 - Intervjuguide Entreprenør
- B.2 - Intervjuguide Programvareleverandør

Vedlegg C - Artikkel og matrise til «bygg.no»

- C.1 - Artikkel bygg.no
- C.2 - Matrise til bygg.no

Vedlegg D - Utkast til vitenskapelig artikkel

- D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

Vedlegg E - Casestudie

- E.1 - Prosjektressurser i ALICE
- E.2 - Recipes i ALICE
- E.3 - Fremdriftsplan i ALICE
- E.4 - Fremdriftsplan fra NærByen i MS project
- E.5 - Fremdriftsplan fra ALICE i MS project

Vedlegg A - Oversikt litteratursøk

Vedlegg A.1 - Oversikt litteratursøk

Oversikt over søkeord og kombinasjoner							
Søkeord		Oria (A)	ASCE (B)	Scopus (C)	Web of Science (D)	Science direct (E)	Google Scholar (F)
<i>Første litteratursøk</i>							
((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction	(0)	141824	4447	11934	<u>2023</u>	172649	2880000
AND AEC	(1)	<u>952</u>	160	40	4	1551	12400
AND BIM	(2)	<u>1617</u>	231	<u>99</u>	20	936	12000
AND AEC AND BIM	(3)	92	77	11	-	<u>115</u>	2210
<i>Andre litteratursøk</i>							
((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction							
AND "scheduling"	(4)	21984	683	<u>326</u>	54	<u>18829</u>	230000
AND "scheduling" AND "software"	(5)	4814	<u>376</u>	45	10	9048	126000
AND "scheduling" AND "BIM"	(6)	<u>383</u>	<u>75</u>	4	2	<u>287</u>	2510
AND "scheduling" AND "contractors"	(7)		<u>91</u>	22			
AND "scheduling" AND "civil engineering"			-	30			
AND "scheduling" AND "civil engineering" AND "BIM"	(8)		60	-			
((Artificial AND intelligence) OR AI OR Machine Learning OR deep learning) AND construction AND "scheduling"	(9)		1082	<u>38</u>			

Fet = vært gjennom

Fet og understreket = avgrenset med et filter og deretter vært gjennom, se i kategorien

Vedlegg A.2 - Oversikt over kartlagt litteratur

ORIA						
Kode	Aktuelle	Dato lagt til	Tittel	Filter	Link	Tas med videre?
A1	0 av 116		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND AEC	Emne - "Artificial Intelligence" og "Construction Industry"		
A1.001	1 av 116	11.02.2020	Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities		https://v	Nei
A1.002	2 av 116	11.02.2020	A System of Systems Approach to Intelligent Construction Systems		https://a	Nei
A1.003	3 av 116	11.02.2020	7 AEC marketing trends to watch for in 2019		https://s	Nei
A1.004	4 av 116	11.02.2020	Tech Report 5.0: AI Arrives		https://s	Nei
A1.005	5 av 116	11.02.2020	Artificial intelligence set to enhance the construction sector		https://s	Nei
A1.006	6 av 116	11.02.2020	Big 5 calls for investments in innovative technologies		https://s	Nei
A1.007	7 av 116	11.02.2020	Can machines design?		https://s	Nei
A1.008	8 av 116	11.02.2020	AI takes flight		https://s	Nei
A2	0 av 176		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND BIM	Emne - "Artificial Intelligence"		
A2.001	1 av 176	11.02.2020	Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of BIM models		https://v	Nei
A2.002	2 av 176	11.02.2020	Potentials of artificial intelligence in construction management		https://s	Ja
A2.003	3 av 176	11.02.2020	Construction software in focus		https://s	Nei
A3	0 av 92		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND BIM	Ingen		
			Allerede dekket.			
A4	0 av 21984		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling			
			For mange treff, og finner ikke passende filter			
A5	0 av 4814		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling AND software			
			For mange treff, og finner ikke passende filter			
A6	0 av 383		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling AND BIM	Vis kun - "Fra fagfelleverderte tidsskrift"; Emne - "Artificial Intelligence", "Software"		
A6.001	1 av 28	20.03.2020	Potentials of artificial intelligence in construction management		https://s	Ja
A6.002	2 av 28	20.03.2020	New Software & Applications		https://s	Nei

Vedlegg A.2 - Oversikt over kartlagt litteratur

A6.003	3 av 28	20.03.2020	ADAPTS: An Intelligent Sustainable Conceptual Framework for Engineering Projects		https://s	Nei
--------	---------	------------	--	--	-----------------------------------	-----

ASCE						
Kode	Aktuelle	Dato lagt til	Tittel	Filter:	Link	Tas med videre?
B0	0 av 3483		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction			
			<i>(Gikk gjennom de hundre første bare pga for mange treff)</i>			
B2.001	1 av 3843	27.01.2020	Extending Artificial Intelligence Techniques for Hierarchical Planning		https://a	Nei
B2.002	2 av 3843	27.01.2020	Generating Construction Project Plans		https://a	Ja
B2.003	3 av 3843	27.01.2020	Artificial Intelligence and Parametric Construction Cost Estimate Modeling: State-of-the-Art Review		https://a	Nei
B2.004	4 av 3843	27.01.2020	Artificial Intelligence		https://a	Nei
B2.005	5 av 3843	27.01.2020	Site-Layout Modeling: How Can Artificial Intelligence Help?		https://a	Nei
B2.006	6 av 3843	27.01.2020	Bibliometric Review of Artificial Intelligence (AI) in Construction Engineering and Management		https://a	Nei
B2.007	7 av 3843	27.01.2020	Intelligent Planning of Construction Projects		https://a	Nei
B2.008	8 av 3843	27.01.2020	Artificial Neural Network–Based Intelligent Compaction Analyzer for Real-Time Estimation of Subgrade Quality		https://a	Nei
B2.009	9 av 3843	27.01.2020	Automating Design Review with Artificial Intelligence and BIM: State of the Art and Research Framework		https://a	Nei
B1	0 av 160		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND AEC			
			For mange treff, og finner ikke passende filter			
B2	0 av 231		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND BIM			
			For mange treff, og finner ikke passende filter			
B3	0 av 77		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND AEC AND BIM			
B3.001	1 av 77	10.02.2020	AEC Project Performance Prediction and Validation Using the Artificial Neural Network		https://a	Nei
B3.002	2 av 77	00.01.1900	Leveraging Blockchain Technology in AEC Industry during Design Development Phase		https://a	Nei
B3.003	3 av 77	10.02.2020	State-of-the-Art Review on the Applicability of AI Methods to Automated Construction Manufacturing		https://a	Nei

Vedlegg A.2 - Oversikt over kartlagt litteratur

B3.004	4 av 77	00.01.1900	A Multidimensional Framework for Unmanned Aerial System Applications in Construction Project Management		https://a	Nei
B3.005	5 av 77	10.02.2020	Blockchain Technologies in BIM Workflow Environment		https://a	Nei
B3.006	6 av 77	00.01.1900	Intelligent Agents in Civil Engineering		https://a	Nei
B3.007	7 av 77	10.02.2020	Applying Deep Learning and Building Information Modeling to Indoor Positioning Based on Sound		https://a	Nei
B4	0 av 683		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling			
			For mange treff, og finner ikke filter som begrenser nok			
B5	0 av 85		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND "scheduling" AND "software"	Technical topics - "Scheduling"		
B5.001	1 av 85	16.03.2020	4D Modeling and BIM-Based Project Planning Using Constraint-Based Simulation for Implementation in Iran Considering an Actual Case Study		https://a	Nei
B5.002	2 av 85	16.03.2020	Delay Analysis: A Comparison of Schedules without Phantom Float in Commercial Scheduling Software		https://a	Nei
B5.003	3 av 85	16.03.2020	Work-Package Planning and Schedule Optimization for Projects with Evolving Constraints		https://a	Ja
B5.004	4 av 85	16.03.2020	A Production Scheduling Method Based on Interactive Simulation and Expert System		https://a	Nei
B5.005	5 av 85	16.03.2020	A Process for the Estimation of the Duration of Activities in Fuzzy Project Scheduling		https://a	Ja
B5.006	6 av 85	16.03.2020	Constraint Programming Approach to Precast Production Scheduling		https://a	Nei
B6	0 av 11		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND "scheduling" AND "BIM"	Technical topics - "Scheduling"		
B6.001	1 av 11	16.03.2020	Integrating CAD with Construction-Schedule Generation		https://a	Nei
B6.002	2 av 11	16.03.2020	Construction Method Models Using Context Aware Construction Requirements for Automated Schedule Generation		https://a	Ja

Vedlegg A.2 - Oversikt over kartlagt litteratur

SCOPUS						
Kode	Aktuelle	Dato lagt til	Tittel	Filter	Link	Tas med videre?
C1			((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND AEC			
C1.001	1 av 40	27.01.2020	Evaluating artificial intelligence tools for automated practice conformance checking		https://v	Nei
C1.002	2 av 40	27.01.2020	Challenges and drivers for data mining in the AEC sector		https://v	Nei
C1.003	3 av 40	27.01.2020	Optimising image classification implementation of convolutional neural network algorithms to distinguish between plans and sections within the architectural, engineering and construction (AEC) industry		https://v	Nei
C1.004	4 av 40	27.01.2020	Application of Artificial Intelligence Methods in Sustainable Building Design		https://v	Ja
C1.005	5 av 40	27.01.2020	Artificial intelligence techniques to support design and construction		https://v	Ja
C1.007	7 av 40	27.01.2020	Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities		https://v	Ja
C2			((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND BIM	Keyword - Artificial Intelligence		
C2.001	1 av 72	29.01.2020	Knowledge-based system for resolving design clashes in building information models		https://v	Ja
C2.002	2 av 72	29.01.2020	Intelligent designer: A computational approach to automating design of windows in buildings		https://v	Nei
C2.003	3 av 72	29.01.2020	Artificial Intelligence for civil engineering		https://v	Nei
C2.004	4 av 72	29.01.2020	Dynamic construction material layout planning optimization model by integrating 4D BIM		https://v	Nei
C2.005	5 av 72	29.01.2020	Developing AI Based Scheme for Project Planning by Expert Merging Revit and Primavera Software		https://v	Ja
C2.006	6 av 72	29.01.2020	Clash Relevance Prediction Based on Machine Learning		https://v	Nei
C2.007	7 av 72	29.01.2020	Artificial intelligence support for tunnel design in urban areas		https://v	Nei
C2.008	8 av 72	29.01.2020	BIM capacities improved with VR technology in the building project		https://v	Nei
C2.009	9 av 72	29.01.2020	The Framework of Combining Artificial Intelligence and Construction 3D Printing in Civil Engineering		https://v	Nei
C2.010	10 av 72	29.01.2020	Application of BIM technology and artificial intelligence big data technology in architecture teaching		https://v	Nei

Vedlegg A.2 - Oversikt over kartlagt litteratur

C2.011	11 av 72	29.01.2020	High level-of-detail BIM and machine learning for automated masonry wall defect surveying		https://v	Nei
C3			((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND AEC AND BIM			
C3.001	1 av 11	29.01.2020	Current trend in planning and scheduling of construction project using artificial intelligence		https://i	Ja
C3.002	2 av 11	29.01.2020	Intelligent building emergency management using building information modelling and game engine		https://v	Nei
C4			((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling	Keyword - Artificial Intelligence OG Scheduling		
C4.001	1 av 256	18.03.2020	Smart data - Dealing with task complexity in construction scheduling		https://v	Ja
C4.002	2 av 256	18.03.2020	DQN Inspired Joint Computing and Caching Resource Allocation Approach for Software Defined Information-Centric Internet of Things Network		https://v	Nei
C4.003	3 av 256	18.03.2020	Application of the integrated decision support system for scheduling of development projects		https://v	Nei
C4.004	4 av 256	18.03.2020	Resource-Constrained Project Scheduling Problem using Firefly Algorithm		https://v	Nei
C4.005	5 av 256	18.03.2020	A computer based approach for Material, Manpower and Equipment management in the Construction Projects		https://v	Nei
C4.006	6 av 256	18.03.2020	Management of resources in multiunit construction projects with the use of a tabu search algorithm		https://v	Nei
C4.007	7 av 256	18.03.2020	Smart optimization for mega construction projects using artificial intelligence		https://v	Nei
C4.008	8 av 256	18.03.2020	Applying metaheuristic strategies in construction projects management		https://v	Nei
C4.009	9 av 256	18.03.2020	Dynamic construction material layout planning optimization model by integrating 4D BIM		https://v	Nei
C4.010	10 av 256	18.03.2020	Application of the integrated decision support system for scheduling of development projects		https://v	Nei
C4.011	11 av 256	18.03.2020	Decision support system for modular construction scheduling		https://v	Nei
C4.012	12 av 256	18.03.2020	Work-Package Planning and Schedule Optimization for Projects with Evolving Constraints		https://v	Nei

Vedlegg A.2 - Oversikt over kartlagt litteratur

C4.013	13 av 256	18.03.2020	Construction resource scheduling with chaotic particle swarm optimisation		https://v	Nei
C4.014	14 av 256	18.03.2020	Optimized scheduling and buffering of repetitive construction projects under uncertainty		https://v	Nei
C4.015	15 av 256	18.03.2020	A system for answering scheduling questions based on concept association		https://v	Nei
C4.016	16 av 256	18.03.2020	Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling		https://v	Ja
C5			((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling AND software			
			Dekket i tidligere søk			
C6			((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling AND BIM			
			Dekket i tidligere søk			

WEB OF SCIENCE						
Kode	Aktuelle	Dato lagt til	Tittel	Filter	Link	Tas med videre?
D0	0 av 185		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction	Categories - Engineering Civil OG Construction building technology		
D0.001	1 av 185	23.01.2020	Artificial intelligence and organizing decision in construction		https://a	Nei
D0.002	2 av 185	23.01.2020	Preliminary Resource-based Estimates Combining Artificial Intelligence Approaches and Traditional Techniques		https://a	Nei
D0.003	3 av 185	23.01.2020	Artificial Intelligence and Parametric Construction Cost Estimate Modeling: State-of-the-Art Review		https://a	Nei
D0.004	4 av 185	23.01.2020	Novel Approach to Estimating Schedule to Completion in Construction Projects Using Sequence and Nonsequence Learning		https://a	Nei
D0.005	5 av 185	23.01.2020	Intelligent designer: A computational approach to automating design of windows in buildings		https://a	Nei
D0.006	6 av 185	23.01.2020	State-of-the-Art Review on the Applicability of AI Methods to Automated Construction Manufacturing		https://a	Nei

Vedlegg A.2 - Oversikt over kartlagt litteratur

D0.007	7 av 185	23.01.2020	Complex, complicated, chaotic? The control of construction projects with artificial intelligence		https://a	Nei
D0.008	8 av 185	23.01.2020	THE IMPACT OF COMPUTER INTELLIGENCE ON THE MODELS OF CONSTRUCTIONS' DESIGN		https://a	Nei
D0.009	9 av 185	23.01.2020	Dynamic prediction of project success using artificial intelligence		https://a	Nei
D0.010	10 av 185	23.01.2020	Artificial intelligence (AI) supported process planning system for construction		https://a	Nei
D0.011	11 av 185	23.01.2020	Evaluation and review of the utilization of artificial intelligence technology in construction scheduling and planning		https://a	Nei
D0.012	12 av 185	23.01.2020	SITE-LAYOUT MODELING - HOW CAN ARTIFICIAL-INTELLIGENCE HELP		https://a	Nei
D0.013	13 av 185	23.01.2020	NEURAL NETWORKS AS TOOLS IN CONSTRUCTION		https://a	Nei
D0.014	14 av 185	23.01.2020	POTENTIAL APPLICATIONS OF NEURAL NETWORKS IN CONSTRUCTION		https://a	Nei
D0.015	15 av 185	23.01.2020	ARTIFICIAL-INTELLIGENCE TECHNIQUES FOR GENERATING CONSTRUCTION PROJECT PLANS		https://a	Nei
D0.016	16 av 185	23.01.2020	Forecasting construction output: a comparison of artificial neural network and Box-Jenkins model		https://a	Nei
D0.017	17 av 185	23.01.2020	Optimized artificial intelligence models for predicting project award price		https://a	Nei
D0.018	18 av 185	23.01.2020	Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling		https://a	Nei
D1	0 av 4		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND AEC			
			Ingen relevante			
D2	0 av 20		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND BIM			
D2.001	1 av 20	24.01.2020	A review of technologies and applications for smart construction		https://a	Nei
D2.002	2 av 20	24.01.2020	Dynamic construction material layout planning optimization model by integrating 4D BIM		https://a	Nei
D2.003	3 av 20	24.01.2020	Developing AI Based Scheme for Project Planning by Expert Merging Revit and Primavera Software		https://a	Nei
D2.004	4 av 20	24.01.2020	Integration between BIM and Agent-based simulation for the 4.0 detailed design		https://a	Nei
D2.005	5 av 20	24.01.2020	As-Built BIM Updating Based on Image Processing and Artificial Intelligence		https://a	Nei

Vedlegg A.2 - Oversikt over kartlagt litteratur

D2.006	6 av 20	24.01.2020	The Application of BIM in Artificial Intelligence Management of Construction Engineering Database Project		https://a	Nei
D3	0 av 2		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND BIM			
			Allerede dekket			
D4	0 av 54		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling			
D4.001	1 av 54	18.03.2020	Optimized scheduling and buffering of repetitive construction projects under uncertainty		https://a	Ja
D4.002	2 av 54	18.03.2020	Automation in construction scheduling: a review of the literature		https://a	Ja
D4.003	3 av 54	18.03.2020	Evaluation and review of the utilization of artificial intelligence technology in construction scheduling and planning		https://a	Nei
D5			((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling AND software			
			Allerede dekket			
D6			((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling AND BIM			
			Allerede dekket			

SCIENCE DIRECT						
Kode	Aktuelle	Dato lagt til	Tittel	Filter	Link	Tas med videre?
E			((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction			
			For mange treff, og finner ikke passende filter			
E1	0 av 1551		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND AEC			
			For mange treff, og finner ikke passende filter			
E2	0 av 936		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND BIM			
			For mange treff, og finner ikke passende filter			
E3	0 av 115		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND AEC AND BIM	Publication title - "Automation in Construction", "Advanced Engineering Informatics"		
E3.001	1 av 58	28.01.2020	Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities		https://v	Ja

Vedlegg A.2 - Oversikt over kartlagt litteratur

E3.002	2 av 58	28.01.2020	A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends		https://v	Nei
E3.003	3 av 58	28.01.2020	BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance		https://v	Nei
E4	0 av 18829		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling	Publication title - "Engineering Applications of Artificial Intelligence"		
E4.001	1 av 254	16.03.2020	AI and machine learning techniques for managing complexity, changes and uncertainties in manufacturing		https://v	Nei
E5	0 av 9048		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling AND software			
			For mange treff, og finner ikke passende filter			
E6	0 av 77		((Artificial AND intelligence) OR AI) AND construction AND scheduling AND BIM	Publication title - "Automation in construction", "Advanced Engineering Informatics"		
			Ingen relevante			

Vedlegg A.3 - Evaluerte referanser

Evaluerte referanser							
Kode	Tittel	År	Forfatter(e)	Land	Type	Nøkkelord	Link
A6.001	Potentials of artificial intelligence in construction management	2020	Eber Wolfgang	Zagreb	Research paper	Building Information Model (BIM), complexity, construction management, real-estate management, artificial intelligence, coordination, organisation	https://sea
B2.002	Generating Construction Project Plans	1988	Raymond E. Levitt, Nabil A. Kartam, John C. Kunz	USA	Journal paper	Artificial intelligence, Systems engineering, Construction equipment, Project management, Construction methods, Computer software	https://asc
B5.003	Work-Package Planning and Schedule Optimization for Projects with Evolving Constraints	2016	Zinab Abuwarda, Tarek Hegazy	Canada	Journal paper	Construction, Schedule compression, Acceleration, Crashing, Overlapping, Constraint programming, Optimization.	https://asc
B5.005	A Process for the Estimation of the Duration of Activities in Fuzzy Project Scheduling	2012	A. Maravas, J. P. Pantouvakis	Hellas	Conference paper	Project management, Uncertainty principles, Scheduling, Earthwork, Parameters (statistics), Fuzzy sets, Risk management, Statistics	https://asc
B6.002	Construction Method Models Using Context Aware Construction Requirements for Automated Schedule Generation	2017	Justin K. W. Yeoh, T. Q. Nguyen, Ernest L. S. Abbott	Singapore	Conference paper	Automation, Scheduling, Project management, Construction engineering, Construction management, Knowledge-based systems, Construction methods, Architectural engineering	https://asc
C1.004	Application of Artificial Intelligence Methods in Sustainable Building Design	2019	Ewa Gilner, Adam Galuszka, Tomasz Grychowski	Polen	Conference paper	AEC managing tools, Architectural design, Decision making, Knowledge Based Engineering, Pareto genetic algorithms	https://www
C1.005	Artificial intelligence techniques to support design and construction	2018	A. Mohammadpour, E. Karan, S. Asadi	USA	Conference paper	Artificial intelligence, Techniques, Artificial Intelligence Applications, Architecture, Construction Industry, Engineering	https://www

Vedlegg A.3 - Evaluerte referanser

C1.007	Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities	2020	Amos Darko, Albert P. C. Chan, Michael A. Adabre, David J. Edwards, M. Reza Hosseini	Hong Kong, UK, Australia	Review	Artificial intelligence, Automation, Digital transformation, Industry 4.0, Machine Intelligence	https://www
C2.001	Knowledge-based system for resolving design clashes in building information models	2020	Hsieh-Chih Hsu, Shen Chang, Chien-Chih Chen, I-Chen Wu	Taiwan	Conference paper	Building information modelling Design clash resolution Knowledge extraction Heuristic optimization	https://www
C2.005	Developing AI Based Scheme for Project Planning by Expert Merging Revit and Primavera Software	2019	Karim M. Aljebory,	Irak	Conference paper	BIM, AI, Porject Planning, Project Controll	https://www
C3.001	Current trend in planning and scheduling of construction project using artificial intelligence	2018	Ning Liu, Byung G	Kina	Conference paper	ARTIFICIAL INTELLIGENCE, BIM, 4D CAD, CONSTR	https://iee
C4.001	Smart data - Dealing with task complexity in construction scheduling	2019	Svenja Oprach, D	Irland	Paper	Knowledge management, Smart Data, construction pla	https://www
C4.016	Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling	2012	Shih-Ming Chen, F	USA	Journal paper	Computerized scheduling Resource management Artifi	https://www
Via snowballing	THE IMPORTANCE OF PLANNING DURING PROJECT EXECUTION	2014	Dr. Dan Patterson	USA	White paper	-	https://www
Via snowballing	Benchmarking project schedules	2011	Dan Patterson	USA	Conference paper	Benchmark metrics, Project schedules, Project management, Budget control, Construction projects	https://www
Via snowballing	Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry	2011	Salman Azhar	USA	Artikkel	Industries, Building design, Construction engineering, C	https://asc
Via snowballing	Optimized scheduling and buffering of repetitive construction projects under uncertainty	2016	Ibrahim Bakry, Osa	Canada	Research paper	Construction management, Dynamic programming, Fu	https://www

Vedlegg B - Intervjuguider

Vedlegg B.1 - Intervjuguide Entreprenør

Intervjuguide - Entreprenører

Takk for at du stiller som intervjuobjekt til vår masteroppgave. Alt som blir skrevet ned av det du sier i løpet av dette intervjuet er anonymt.

Samtykker informant i at intervjuet blir tatt opp og transkribert	Ja:		Nei:	
---	-----	--	------	--

Del 1: Intervjuerne forteller om seg selv og bakgrunnen for intervjuet

Del 2: Informant forteller om seg selv og sin erfaring i byggebransjen

Del 3: Nøkkelspørsmål vedrørende masteroppgavens tema og problemstillinger

Del 4: Avslutning

Del 1: Om intervjuerne

Våre navn er Louise Benedikte Gjelseth Buene og Marita Grundberg Pedersen. Vi går det 2-årige masterprogrammet ved bygg- og miljøteknikk på NTNU i Trondheim. Vi har valgt ulike studieretninger innen henholdsvis konstruksjonsteknikk og bygg og anlegg, men begge skriver masteroppgave innen prosjektledelse for bygg og anlegg. Begge har bachelor fra OsloMet med konstruksjonsteknikk som spesialisering.

Vi skriver masteroppgave om bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging, og formålet med dette intervjuet er å få hjelp til å besvare følgende problemstillinger:

1. Hvordan kan kunstig intelligens brukes i fremdriftsplanlegging?
2. Hva er fordeler og ulemper med å utarbeide fremdriftsplaner ved hjelp av kunstig intelligens, sammenlignet med tradisjonell fremdriftsplanlegging?
3. Hvilke forutsetninger bør være til stede for at totalentreprenører skal ta i bruk kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i fremtidige prosjekter?

Del 2: Om informant

Alder	
Utdanning	
Stilling	

Vedlegg B.1 - Intervjuguide Entreprenør

1. Fortell om deg selv og din bakgrunn og erfaring i byggebransjen.
2. Hva er din erfaring med fremdriftsplanlegging?
3. Hva er din erfaring med digitale verktøy?
4. Hvilke programvarer kjenner du til som benytter kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging?
 - a. Hva er testet i Norge?

Del 3: Nøkkelspørsmål

Innledning

1. Hva mener du er typiske utfordringer med fremdriftsplanlegging?

Programvare

2. Hva er din erfaring med bruk av programvare som benytter kunstig intelligens under fremdriftsplanlegging?
 - a. Hvilken programvare har dere testet?
 - b. Hva løser programvaren?
 - c. Hvordan gjennomførte dere testene?
 - d. Hvilken teknologisk kunnskap og opplæring kreves for å bruke programvaren?
 - e. Hvor lenge testet dere programmet?
 - f. Hvorfor avsluttet dere?
 - g. Hva er planen videre?
3. Hva er fordeler og ulemper med å benytte denne programvaren, sammenlignet med tradisjonell fremdriftsplanlegging?
4. Hva må til for at dere skal benytte programvaren i fremtidige prosjekter?

Input

5. Hvilken input tar programvaren inn?
 - a. Hvilke filtyper støttes?
6. Hva er fordeler og ulemper med typen input som programvaren tar inn?
7. Hvilken input burde gått inn?
 - a. Hvilke filtyper burde støttes?
 - b. Opplever du at 3D-modellene dere bruker i dag er tilstrekkelig strukturerte til å kunne benyttes som input i programvaren?

Output

8. Hvilken output fås ut?
9. Hva er fordeler og ulemper med output som fås ut?
10. Hvilken output burde man fått ut?

Vedlegg B.1 - Intervjuguide Entreprenør

Forutsetninger

11. Hva er kritisk informasjon som programvaren må ta høyde for, for at planene skal være pålitelige?
 - a. Hvilke karakteristika tror du at må være tilstede i et prosjekt for at det skal lønne seg å bruke kunstig intelligens i fremdriftsplanleggingen?
12. Hvilke muligheter og utfordringer tror du totalentreprenører vil oppleve ved å benytte kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging?
13. Hva tror du må til for at totalentreprenører skal benytte kunstig intelligens under fremdriftsplanlegging i fremtiden?

Andre programvarer

Vi har funnet flere programvarer som benytter kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging, og som har ulike fremgangsmetoder. Noen lager fremdriftsplaner basert på BIM, andre tar inn fremdriftsplaner og skal oppdage og korrigere dyre forsinkelser før de oppstår.

14. Hvilken metode tror du totalentreprenører vil ha størst nytte av?
15. Noen programvarer krever en stor mengde strukturert data, eksempelvis i form av bedriftens historiske prosjektkunnskap. Har din bedrift et system for strukturering av data?
 - a. Tror du at din bedrift har tilstrekkelig med strukturert data?

Del 4: Avslutning

1. Er det noe du ønsker å tilføye som vi har glemt?
2. Samtykker informant til at intervjuerne kan ta kontakt dersom det skulle dukke opp usikkerheter eller nye spørsmål?

Vedlegg B.2 - Intervjuguide Programvareleverandør

Intervjuguide - Programvareleverandører

Takk for at du stiller som intervjuobjekt til vår masteroppgave. Alt som blir skrevet ned av det du sier i løpet av dette intervjuet er anonymt.

Samtykker informant i at intervjuet blir tatt opp og transkribert	Ja:		Nei:	
---	-----	--	------	--

Del 1: Intervjuerne forteller om seg selv og bakgrunnen for intervjuet

Del 2: Informant forteller om seg selv og sin erfaring i byggebransjen

Del 3: Nøkkelspørsmål vedrørende masteroppgavens tema og problemstillinger

Del 4: Avslutning

Del 1: Om intervjuerne

Våre navn er Louise Benedikte Gjelseth Buene og Marita Grundberg Pedersen. Vi går det 2-årige masterprogrammet ved bygg- og miljøteknikk på NTNU i Trondheim. Vi har valgt ulike studieretninger innen henholdsvis konstruksjonsteknikk og bygg og anlegg, men begge skriver masteroppgave innen prosjektledelse for bygg og anlegg. Begge har bachelor fra OsloMet med konstruksjonsteknikk som spesialisering.

Vi skriver masteroppgave om bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging, og formålet med dette intervjuet er å få hjelp til å besvare følgende problemstillinger:

1. Hvordan kan kunstig intelligens brukes i fremdriftsplanlegging?
2. Hva er fordeler og ulemper med å utarbeide fremdriftsplaner ved hjelp av kunstig intelligens, sammenlignet med tradisjonell fremdriftsplanlegging?
3. Hvilke forutsetninger bør være til stede for at totalentreprenører skal ta i bruk kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i fremtidige prosjekter?

Del 2: Om informant

Alder	
Utdanning	
Stilling	

Vedlegg B.2 - Intervjuguide Programvareleverandør

1. Fortell om deg selv og din bakgrunn og erfaring i byggebransjen.
2. Hva er din erfaring med fremdriftsplanlegging?
3. Hva er din erfaring med digitale verktøy?
4. Hvilke programvarer kjenner du til som benytter kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging?
 - a. Hva er testet i Norge?

Del 3: Nøkkelspørsmål

Innledning

1. Hva mener du er typiske utfordringer med fremdriftsplanlegging?

Programvare

2. Hva var bakgrunnen for ideen om å lage et slikt verktøy?
 - a. Hva løser programvaren deres?
 - b. Hvilken type prosjekter er programvaren beregnet for?
 - c. Hvilken teknologisk kunnskap og opplæring kreves for å bruke programvaren?
 - d. Hva er planen for videre utvikling av programvaren?
3. Hva er fordeler og ulemper med å benytte denne programvaren, sammenlignet med tradisjonell fremdriftsplanlegging?
4. Hva mangler programvaren deres for at flere entreprenører skal se verdien av å benytte programvaren i fremtidige prosjekter?

Kunstig intelligens

5. Hvilken type kunstig intelligens benyttes?
6. Hva er fordeler og ulemper ved å benytte denne typen kunstig intelligens?
7. Er det en annen form for kunstig intelligens som dere ønsker å bruke i fremtiden?

Input

8. Hvilken input tar programvaren inn?
 - a. Hvilket manuelt arbeid må gjøres for å benytte programvaren?
 - b. Hvilke filtyper støttes?
9. Hva er fordeler og ulemper med typen input som programvaren tar inn?
10. Finnes det andre typer input som dere ønsker skal kunne brukes i fremtiden?
 - a. Hvilke filtyper ønsker dere å støtte i fremtiden?
 - b. Opplever du at 3D-modellene som benyttes i dag er tilstrekkelig strukturerte til å kunne benyttes som input i programvaren?

Vedlegg B.2 - Intervjuguide Programvareleverandør

Output

11. Hvilken output fås ut?
12. Hva er fordeler og ulemper med output som fås ut?
13. Ønsker dere å kunne tilby en annen type output i fremtiden?

Forutsetninger

14. Hva mener du er kritisk informasjon som programvaren må ta høyde for, for at planene skal være pålitelige?
 - a. Hvilke karakteristika tror du at må være tilstede i et prosjekt for at det skal lønne seg å bruke kunstig intelligens i fremdriftsplanleggingen?
15. Hvilke muligheter og utfordringer tror du entreprenører vil oppleve ved å benytte kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging?
16. Hva tror du må til for at entreprenører skal benytte kunstig intelligens under fremdriftsplanlegging i fremtiden?

Del 4: Avslutning

1. Er det noe du ønsker å tilføye som vi har glemt?
2. Samtykker informant til at intervjuerne kan ta kontakt dersom det skulle dukke opp usikkerheter eller nye spørsmål?

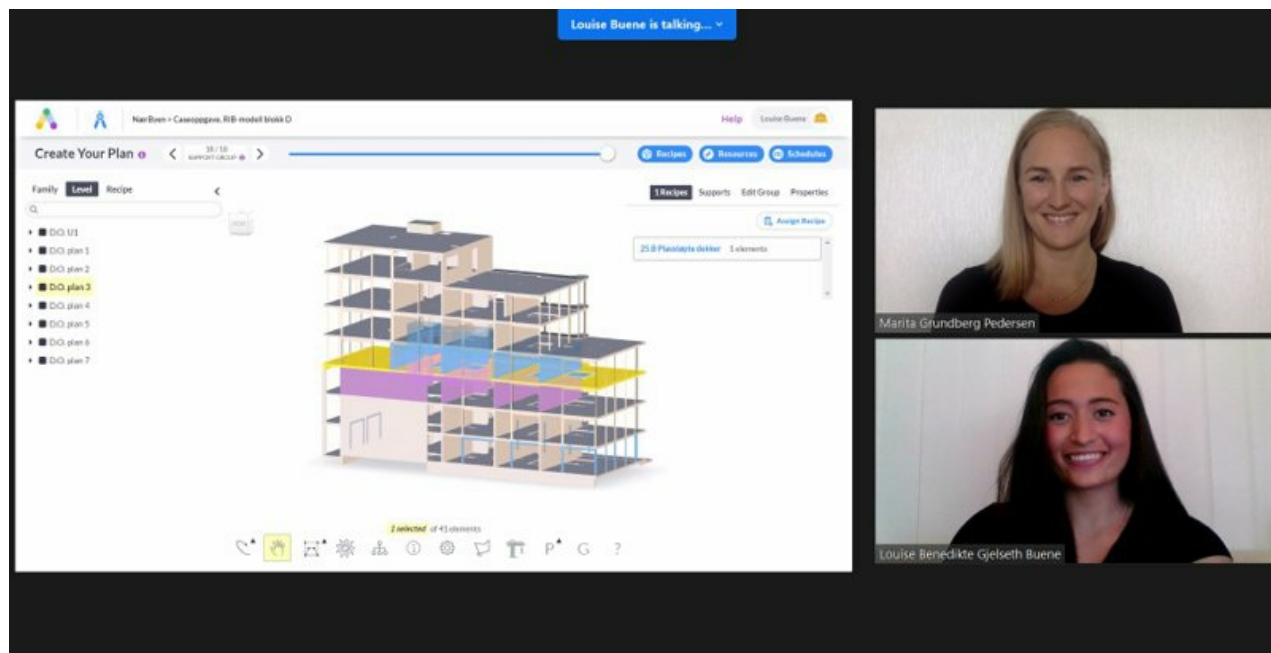
Vedlegg C - Artikkel og matrise til «bygg.no»

Vedlegg C.1 - Artikkel bygg.no

Innlegg: Hvordan ville det vært å ha 100.000 assistenter til å hjelpe deg med fremdriftsplanlegging?

 bygg.no/article/1435733

June 11, 2020



Masterstudenter Louise Benedikte Gjelseth Buene og Marita Grundberg Pedersen.
Publisert: 11.06.2020 15:48.

Artificial Intelligence (AI) eller Kunstig Intelligens (KI) gjør et økende inntog i bygg og anleggsnæringen

Vi er to studenter ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) som fant ut at det spørsmålet vil vi se nærmere på i vår mastergrad. Kunstig intelligens er i vinden som aldri før i mange næringer, også i BAE-næringen.

Innlegg av:

Marita G. Pedersen og
Louise Buene

Det finnes allerede flere kommersielle løsninger tilgjengelig, som eksempelvis Spacemaker som de fleste kjenner til. Med bakgrunn i dette valgte vi å se nærmere på hvordan bruk av kunstig intelligens i fremdriftsplanlegging kan optimalisere fremtidens planer for byggeprosjekter.

Det hele startet med at vi funderte over at det virket utrolig tidkrevende å lage nye fremdriftsplaner for store byggeprosjekt. Som regel resulterer også dette ressurskrevende arbeidet i kun én alternativ plan. I prosjekter vi har vært i kontakt med hører vi at sviktende planlegging ofte ender i forsinkelser. Dette skyldes blant annet uforutsette hendelser som oppstår fordi det er utfordrende å holde oversikt over samtlige aktiviteter og forhold under planlegging, og dette koster byggebransjen dyrt.

Vedlegg C.1 - Artikkel bygg.no

Denne utfordringen resulterte i en diskusjon om hvorfor det ikke fantes programmer som kunne foreslå alternative fremdriftsplaner basert på gitte parametere. Vi gjorde litt research og fant raskt ut at det faktisk eksisterer flere verktøy på det internasjonale markedet som tilbyr optimalisert fremdriftsplanlegging ved hjelp av kunstig intelligens. Vi har derfor valgt å fokusere på seks forskjellige programvarer som tilbyr noe ulike løsninger. Noen av programvarene generer for eksempel fremdriftsplaner basert på BIM, mens andre tar inn fremdriftsplaner og skal oppdage og korrigere dyre forsinkelser før de oppstår.

Gjennom arbeidet med masteroppgaven har vi forstått at den norske BAE-næringen omtrent ikke vært borti denne type programvare, og at det samtidig er et stort behov for bedre og mer effektiv planlegging. Kombinasjonen av et stort behov og et lite utforsket tema har gjort dette til et svært interessant tema for masteroppgaven. Vi har vært i kontakt med de aller fleste av de største entreprenørene i Norge, og har fått svært god respons. Majoriteten ser klare fordeler med å ta i bruk en slik type programvare, så lenge det blir gjort under riktige omstendigheter.

De seks ulike verktøyene som vi har sett nærmere på er ALICE, nPlan, Kreo Plan, InEight Schedule, Kwant.ai og Holte Fremdrift. Vi har laget en oversiktsmatrise som viser litt nøkkeldata om de ulike programvarene. Denne kan du se ved å klikke på [denne lenken](#). Informasjonen har vi hentet ved hjelp av videomøter og mailkorrespondanse med programvareleverandørene, i tillegg til at vi har supplert med litt info fra hjemmesidene deres. Det må tas forbehold om at matrisen kan inneholde eventuelle feil og misforståelser.

Videre i masteroppgaven er det fokusert på å finne ut hvilke muligheter og erfaringer om finnes i bransjen i dag, hva som er fordelene og ulempene ved å benytte disse programmene, og ikke minst hvilke forutsetninger som må være til stede for at entreprenører skal bruke kunstig intelligens til fremdriftsplanlegging i fremtidige prosjekter. For å finne ut av dette er det blant annet gjennomført intervjuer med noen norske entreprenører som har testet ett av programmene, samt intervjuer med de seks ulike programvareleverandørene.

I tillegg har vi utført en casestudie i samarbeid med den amerikanske programvareleverandøren ALICE Technologies og Veidekke. Programvaren ble testet for å få innsikt i hvordan fremdriftsplaner kan genereres ved hjelp av kunstig intelligens. Testingen ble gjort ved å benytte BIM og informasjon fra det reelle byggeprosjektet NærByen i Trondheim. Deretter ble én av de genererte fremdriftsplanene sammenlignet med den tradisjonelt planlagte hovedplanen for prosjektet. Resultatet viste at planen fra ALICE var svært realistisk, med kun noen få dagers forskjell fra hovedplanen. Også sammenlignet mot faktisk fremdrift så vi store likheter. Vi tror derfor at det er store muligheter ved bruk av denne typen programvarer, og håper at bransjen også vil se potensialet i dette!

Vedlegg C.1 - Artikkel bygg.no

Nå er vi travelt opptatt med siste innspurt av masterskriving, men dersom noen skulle synes dette er ekstra interessant eller har noen gode erfaringer og dele, så er det bare til å ta kontakt med oss på kifremdrift@gmail.com. Avslutningsvis vil vi takke Lars Christian Christensen fra multiBIM som inspirerte oss til å fortelle om dette til resten av bransjen.

Vedlegg C.2 - Matrise til bygg.no

	Hovedfunksjonalitet	Kunstig intelligens	Inndata og manuelt arbeid	Output	Støttede filtyper	Hjemmeside
ALICE	<ul style="list-style-type: none"> • Kjører millioner av simuleringer slik at du raskt kan utforske ulike prosjektscenarier, og se innvirkningen på kostnader og fremdrift. • Hjelper med å finne den mest optimale fremdriftsplanen, og å løse prosjektets mest komplekse begrensninger. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bruker parametrisert simulasjon. • Kombinerer entreprenørens erfaring med en kraftig generativ simuleringsmotor og et enkelt regelbasert system. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tar inn og bruker BIM direkte. • Informasjon om blant annet prosjekttressurser, avhengigheter, og oppskrifter eller konstruksjonsmetodemodeller kan legges inn og justeres manuelt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produserer ulike forslag til fremdriftsplaner inkludert kostnad. • Gantt-diagram og 4D-visualisering. • Følg opp og optimaliser bruken av viktige prosjekttressurser. 	<ul style="list-style-type: none"> • Import: Revit- eller Navisworksfiler. • Eksport: Primavera P6 .XML, .XER og .CSV. 	alicetechnologies.com
nPlan	<ul style="list-style-type: none"> • Kan forutse prosjektets utfall ved å fremheve risiko og foreslå optimale utførelsesveier. • Kan oppdage og korrigerer dyre forsinkelser før de oppstår. • Løser utfordringen med å angi varighet og sekvenser av komplekse prosjekter ved å bruke avanserte metoder i maskinlæring. 	<ul style="list-style-type: none"> • nPlans patentsøkte algoritmer bruker naturlig språkprosessering og deep learning-teknikker for å forstå prosjektplaner og selv organisere seg for å etterligne menneskelig erfaring. • Algoritmene er trent med rundt 250 000 fremdriftsplaner som gjør det til det største biblioteket med fremdriftsplaner i verden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Først må algoritmen lære av bedriftens historiske planer ved å observere den faktiske prestasjonen til prosjekter sammenlignet med planen. • Når opplært, kan algoritmen lage prognoser for fremtidige prosjekter og kunden kan analysere planene sine så ofte som nødvendig. 	<ul style="list-style-type: none"> • Probabilistiske resultater. • Få tilgang til prosjektens programhelse, og identifiser raskt de mest risikofylte prosjektene i både anbuds- og utførelsesfasen. • Få mer tillit til tallene som blir rapportert ved bruk av nPlan's uavhengige, datadrevne prognoser. 	<ul style="list-style-type: none"> • Import: Fremdriftsplanfiler i .XER- eller .XML-format. • Eksport: Ouput kan tilpasses ved hjelp av forskjellige verktøy som PowerBI, Tableau, Excel, etc. 	nplan.io
Kreo Plan	<ul style="list-style-type: none"> • Korrigerer, analyserer og rapporterer basert på prosjektets BIM. • Automatiserer blant annet BIM klassifisering, BIM-kontroll for feil og kollisjoner, mengdeuttak, kostnads- og fremdriftsestimering, Gantt-diagrammer, rapportgenerering og 4D-visualisering. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bruker maskinlæring for å identifisere og klassifisere BIM-elementer med høy nøyaktighet, ved å ta hensyn til elementenes geometri og andre attributter. • Algoritmer brukes for å automatisere oppgaver, og genererer ulike planer og alternativer enkelt og raskt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Importerer en BIM. • Deretter gjennomføres blant annet kontroll av feil/mangler, klassifisering, og tildeling av egnet konstruksjonsmetode til elementene. 	<ul style="list-style-type: none"> • Skaper ulike alternative fremdriftsplaner optimalisert for kostnad, varighet og ressursallokering. • Detaljert kostnadsestimat. • Gantt-diagram og 4D-visualisering. 	<ul style="list-style-type: none"> • Import: IFC-filer eller integrasjon via en Revit Plugin. • Eksport: Eksport av rapporter til MS Project og Excel. 	kreo.net/kreo-plan
InEight Schedule	<ul style="list-style-type: none"> • Leverer prosjektplaner som er realistiske og risikostjerte, både når det gjelder fremdrift og kostnad. • Kombinerer menneskelig og kunstig intelligens for å gi smarte forslag og risikovurderinger basert på en organisasjons historiske prosjektkunnskap. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bruker en unik inferensmotor og maskinlæring for å kontinuerlig lagre og analysere historisk prosjektinformasjonen i et kunnskapsbibliotek, og presentere intelligent milepæler og forslag til planleggeren. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan bygges nye planer eller evaluere eksisterende ved å utnytte historisk kunnskap i kunnskapsbiblioteket. • Kombinerer kunstig og menneskelig intelligens, slik at planleggere kan få tilbakemelding fra prosjektteamet og bruke det inn i fremdriftsplanen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gir organisasjoner mulighet til å etablere mer realistiske og oppnåelige fremdriftsplaner raskt. • Presenterer veiledning og forslag for å legge til rette for å bygge opp bedre planer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Import: Primavera, MS Project og Excel. • Eksport: Primavera, MS Project og Excel. 	ineight.com/solutions/project-planning-scheduling
Kwant.ai	<ul style="list-style-type: none"> • Forbedrer sikkerheten og produktiviteten på byggeplasser ved å gi sanntidsinnsikt om arbeidskraften. • Kan forutse forsinkelser og sikkerhetshendelser som enkelt kan forhindres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bruker kunstig intelligens for å estimere nødvendig arbeidskraft, og foreta sikkerhets- og risikomålinger som tar hensyn til bl.a. fremdrift, forsinkelser, arbeidskraftskrav og innvirkning på kostnad og tid. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tar inn og bruker Microsoft Project/P6-plan, BIM, info om ansatte og "compliance database" • Manuelt arbeid består av å koble fremdriftsplanen til BIMen, og oppdatering av fremdrift for aktivitetene, inkludert % fullført. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produktivitetstrater for ulike fag, arbeidsstyrkeprognoser og identifisering av høyrisikoaktiviteter basert på fremdrift, forsinkelser, og tid- og kostnadseffekter. • Prosjektkontrollrapport og Gantt-diagram. • Geofencing av arbeiderne. 	<ul style="list-style-type: none"> • Import: Microsoft Project/P6-fremdriftsplaner og alle typer 3D-filer. • Eksport: Microsoft Project/P6-fremdriftsplaner, og arbeidstid etter lokasjon til Excel. 	kwant.ai
Holte Fremdrift	<ul style="list-style-type: none"> • Genererer fremdriftsplaner på bakgrunn av informasjon fra kalkyle i Holte SmartKalk. • Tilbyr også replanlegging, slik at uforutsette hendelser kan legges inn i eksisterende plan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Benytter kunstig intelligens til å allokere ressurser til oppgaver. • Simulerer seg frem til optimal ressursallokering basert på ressurspoolen til bedriften. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bruker kalkyldata til informasjon om blant annet mengder, materialer og tid. • Kalkyleverktøyet importerer BIM, som danner informasjonsgrunnlaget for fremdriftsplanen. • Også mulighet for å bygge egne resepter eller maler som inneholder byggemetoder og produksjonsrater for egen bedrift. 	<ul style="list-style-type: none"> • En visuell fremdriftsplan på skjerm uten overallokeringer, hvor kalenderrestriksjoner, fysiske avhengigheter og leveranseavhengigheter er tatt høyde for. • Et nettverk av aktiviteter med avhengigheter, leveranser, milepæler og tildelte ressurser. 	<ul style="list-style-type: none"> • Import: IFC-filer. • Eksport: Microsoft Project. 	holte.no * Programvaren er ikke lansert enda

Vedlegg D - Utkast til vitenskapelig artikkel

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

Buene, L.B.G. and Pedersen, M.G. (2020). "Use of artificial intelligence in construction scheduling." In: XX. (eds.). *Proc. 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC28)*, Cusco, Peru, pp. xx-xx, doi.org/10.24928/2020/XXXX. Online at iglc.net.

This is a draft, and should not be considered as a complete paper or document.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION SCHEDULING

Louise Benedikte Gjelseth Buene¹ and Marita Grundberg Pedersen²

ABSTRACT

In a construction project, countless activities must be planned with correct duration, correct materials and available resources. Project-specific conditions vary for each project. Competence and experience is needed in the construction process, and planning requires a lot of time and resources. All of this make construction scheduling a demanding task. With an increasing interest in artificial intelligence in the construction industry, this paper wishes to explore the combination of scheduling and artificial intelligence.

A literature study, nine semi-structured interviews, unstructured interviews and a case study have been conducted. This has been done to identify opportunities and explore today's market. A total of six software who use artificial intelligence for progress planning were identified.

The findings show that there is little experience in the Norwegian construction industry, as only one of the six software has been tested by a few contractors. The advantages and disadvantages of using artificial intelligence will be highlighted. In addition, prerequisites of how to make it beneficial for contractors to use these software are presented.

The study shows that there is great potential in optimizing schedules using artificial intelligence. It could potentially result in better control and overview, and several alternatives can be obtained in contrast to the traditional planning.

KEYWORDS

Construction Scheduling, Software, Scheduling Software, Artificial Intelligence, ALICE Technologies

INTRODUCTION

BACKGROUND

Complex construction projects are often critically delayed, with cost overruns as a result. In many cases, this is due to poor scheduling (Mohammadpour et al. 2019). Countless activities have to be planned with a correct duration, optimal sequences, and each task also holds uncertainty that must be taken into account. A high level of expertise and experience with construction processes is therefore required.

Although construction projects have repetitive activities, the projects will still be unique due to project-specific conditions, which will vary from project to project (K. W. Yeoh et al. 2017). This makes construction scheduling a very complex and demanding task, as it is difficult to take into account and create an overview of all the necessary

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

information that must be included in the plan, while at the same time keeping total duration and costs as low as possible.

With an increasing use of artificial intelligence (AI) in the construction industry, questions have been asked whether the use of artificial intelligence could help optimize construction scheduling (Mohammadpour et al. 2019). AI is known for helping human limitations in processing large amounts of data. The purpose of this paper is therefore to investigate how the use of artificial intelligence can improve construction planning in construction projects. This aim has resulted in the following research questions:

1. How can artificial intelligence be used in construction scheduling?
2. What are advantages and disadvantages of generating construction schedules using artificial intelligence, compared with traditional construction scheduling?
3. What are prerequisites that should be present in order for contractors to use artificial intelligence for construction scheduling in future projects?

Further on the paper will present theory, followed by the methods that are used. Further the results will be presented, followed by a discussion. Finally, a conclusion will be made.

THEORETICAL FRAMEWORK

CONSTRUCTION PROJECTS

A construction project can be defined as a planned set of activities, with the intention of achieving specified goals within a given budget and deadline (Samset 2015). The projects are temporary and unique. It has a defined start and end, and therefore defined scope and resources (PMI 2008). Even though construction project involves repetition to some degree, there will always be something that separates a project from another.

Despite the fact that two buildings appear to be identical, they are still unique as they have different project specific conditions. This could be e.g. soil conditions, climate conditions, labor market, stakeholders or clients (Mubarak 2010). In addition, construction projects often consist of project teams assembled of people who do not usually work together, sometimes from different organizations (PMI 2008).

THE BASIC OF CONSTRUCTION SCHEDULING

Construction scheduling in construction projects is essential, basic and crucial for the project management and execution (Chen et al. 2012). It is necessary, among other things, to find the completion date of the entire project, being able to calculate the start or end of a specific activity, to coordinate subcontractors, and to predict cash flow (Mubarak 2010).

A construction schedule can be defined as a plan of tasks and activities to be performed in a construction project with specified durations, start and end date for the tasks (Sander 2020). The construction schedule should visualize how the activities are positioned in relation to each other, and will serve as a governing document for the project manager and project owner. The schedule can be used to control and evaluate the progress of the project, to determine whether the project is ahead, on time or behind the deadline. A good schedule would help to execute the project safely within time and budget constraints, without compromising the quality (Chen et al. 2012).

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

Traditionally construction scheduling has been an iterative and vibrant process, with no clear transitions or structure (Levy and Skjærstad 2017). Today construction scheduling mainly involves manual processes and often in an unstructured way. There are different approaches and methods to prepare schedules, but nevertheless there are some steps that have to be done, often as an iterative process. These six steps are; choice of construction methods, definition of work tasks, sequencing tasks, estimate required resources, estimate durations for each task, and identification of the interactions or constraints among the related tasks (Aljebory and QaisIssam 2019).

In construction scheduling there are several factors that influence the various choices that are made, and this makes progress planning a complex task (Oprach et al., 2019). This includes project-specific conditions, project limitations, uncertainty, risk, decisions and duration estimation. These factors must be taken into account while going through the six steps presented in the previous paragraph.

Traditional construction scheduling methods is characterized by transparent technology, which means that the human controls how the input is transformed into an output (Schia 2019). It is thus the result of human intelligence. Transparency often results in a comfortable level of understanding for a human being, by building trust in the technology and the plan.

To prepare and visualize the schedule, it is often necessary to use a software. There are several different software developed for scheduling. Two of the most used software in the Norwegian construction industry is Microsoft Project and Microsoft Office Excel.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The term artificial intelligence is often perceived differently. While for some it will involve artificial forms that can surpass human intelligence, the concept for some can be extended to almost all types of computing and data management (Temu Roos and Valtonen, 2020). One of the reasons for the recent increased publicity in the media, may partly be due to the fact that the term is now used for phenomena that have previously had other labels. Everything from coded "if-then sentences" to statistical analysis may today be called artificial intelligence.

Artificial intelligence can also be explained as a collective term to describe when a machine mimics human cognitive functions, such as problem solving, pattern recognition and learning (Rao, 2019). In this paper it is chosen to accept all forms of artificial intelligence, both machine learning, neural networks and algorithms or simulations that can evaluate alternatives in such way that it surpasses human capability.

Various artificial intelligence approaches have been developed since the upcoming of Information Technologies, beginning in the 1950s (Eber, 2020). What primarily prevented artificial intelligence from flourishing at this time, was that computers were only able to execute commands and not store them. In addition, the computers were very expensive at this time.

As computer science evolved, the idea of managing complex tasks for unique projects supported by computers was also established. According to Faghihi, the interest in automatically generating and optimizing schedules has existed since the early 1960s, when Newell and Simon sought to find better ways to use databased algorithms and applications to facilitate the planning process (Faghihi et al., 2015).

The AEC industry is moving towards increasing automation in order to improve productivity and safety (Mohammadpour et al., 2019). Despite the attention from academics, the AEC industry has so far been reluctant to employ automated methods to

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

produce construction schedules (K. W. Yeoh et al., 2017). There are several reasons for this, with one of them addressing the challenge of generating workable schedules under project-specific conditions that vary from project to project. Variety of project conditions has weakened the industry's confidence in using tools that automatically generate plans. According to Yeoh, the industry prefer to rely on manual methods rather than automated methods, due to lack of control and oversight.

Artificial intelligence can offer exceptional benefits in increasing automation in the industry, overcoming human limitations in processing large amounts of data, and has the potential to be integrated in all stages of a project (Mohammadpour et al. 2019).

METHOD

To answer the research questions, different research methods has been used. The research design of the paper consists of a literature study, semi-structured interviews, unstructured interviews and a case study. The methods were chosen to give a systematic approach to the research questions. By using several methods, the paper's reliability and validity strengthens, as the results can be compared with each other and give an objective conclusion.

The purpose of the semi-structured interviews was to gather knowledge and experience from several Norwegian contractors and a Norwegian software developer. A total of nine informants participated in the semi-structured interviews. The informal interviews were conducted with international software developers to investigate today's opportunities and market. These interviews were communicated through video meetings, telephone calls and mail correspondence.

The case study investigated whether realistic construction schedules could be obtained using artificial intelligence, by comparing the schedules with the traditional planned schedule and the actual progress for a real project. Both objective and subjective data are thus collected to analyze the findings in the thesis.

FINDINGS

The findings is divided to answer each of the research questions, in order to make it easier to compare the results in the discussion, and further to compile the conclusion.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION SCHEDULING

To investigate this research question, all of the mentioned research methods were used.

Construction scheduling software

Through the unstructured interview, a total of six software were discovered. They can be seen in Table 1.

Table 1: Software developers which uses artificial intelligence while scheduling

Software					
ALICE	nPlan	Kreo Plan	InEight Schedule	Kwant.ai	Holte Fremdrift

The software have different approaches for using AI. ALICE, Kreo Plan and Holte will make schedules based on BIM as input. While ALICE does parametric simulation with help of AI to explore alternative schedules, Kreo Plan uses machine learning to classify

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

the BIM-elements. Holte Fremdrift is the only Norwegian software of the six, and uses the artificial intelligence to allocate resources to the different tasks.

ALICE, Kreo Plan and Holte Fremdrift is similar in the way the software result in an automated construction schedule. nPlan and InEight Schedule on the other hand use machine learning for risk assessment and to predict delays, based on historical project knowledge. The software therefore learn from historical project plans.

Experiences in the industry

Throughout the semi-structured interviews, Norwegian contractors presented their own experiences with the use of artificial intelligence in construction scheduling. A total of three contractors participated; AF Gruppen, Veidekke and Kruse Smith. All of them had tried the software ALICE. AF Gruppen and Kruse Smith had both tried it in a real project, but had to quit the testing due to lack of resources. Veidekke has only conducted limited testing.

Testing the software ALICE

To get a better understanding of how AI can be used for construction scheduling, a case study was conducted with the software ALICE. The testing was based on a residential project called “NærByen” which is placed in Trondheim, Norway. Only the structural framing for one apartment block was considered.

The schedules generated by the software was first compared with the traditionally made schedule for the project. Both progress and cost was very similar. ALICE's schedule spent a total of 165 calendar days, while the real project's schedule had an estimate of 164 calendar days. The total cost for the concrete work only was estimated to be approximately 4,130,000,- NOK. ALICE estimated that the price for the concrete work would be 4,009,415,-. In addition the schedule was compared to actual progress in the project, by using photographs from the construction process. The schedule generated by ALICE was therefore considered as realistic.

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES WITH THE USE AI

To investigate this research question, the semi-structured interviews and the case study were the main methods.

Advantages

The interviewees listed various benefits of using artificial intelligence during scheduling. The same has been done as a result of the testing in the case study. Both methods have been based on the software ALICE, but the advantages shown in Table 2 are intended to present advantages on a general basis.

Table 2: Advantages of using AI software compared to traditional scheduling

Interviews	Case Study
Several and optimized schedules	Several and detailed schedules
Good indications	Realistic and good indications
Efficient scheduling process	Efficient scheduling process
Computing power and complexity	Easy to use

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

Using software that utilizes AI has the advantage that it results in more schedule options than a human would manage to make in the same amount of time. If the right input is used, more optimized schedules can be achieved. In addition, this type of software can be used to quickly get realistic and good indications of what will pay off in general for the project.

It is also an advantage that the use of artificial intelligence controls large amounts of data and complexity that would otherwise be difficult for humans to work with. In addition, it was stated during the interview that ALICE is easy to use, which was also observed during the case study.

Disadvantages

As for the advantages, the informants also presented disadvantages. Some of those were also observed in the case study. They are all listed in the Table 3.

Table 3: Disadvantages of using AI software compared to traditional scheduling

Interviews	Case Study
Digitization	
Trust	Trust
Appropriate and practicable schedules	Practicable schedules
Technology and use	Technology and use
Missing feautres	Missing feautres

A clear disadvantage in the construction industry which appeared from the interviews, is that the construction industry is behind when it comes to digitization. This can make it more difficult to implement such software. Furthermore, it can be difficult to build confidence in a tool that handles amounts of data that the human has little control over.

Software lacks human reason, and it can result in inappropriate and impractical solutions or sequence of activities. In addition, it can be considered time-consuming to get acquainted with software to utilize the full potential of all the features. It was also stated during the interview that the software ALICE is still under development and therefore is lacking some features. This was also observed throughout the case study.

PREREQUISITES FOR USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Through semi-structured interviews and case study, various prerequisites were observed that should be present for contractors to be able to use those types of software as mentioned. The prerequisites are presented in Table 4.

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

Table 4: Prerequisites for contractors to be able to use AI softwares

Prerequisites
Forward-leaning industry
Technological demands
Proper data management
Actual yield of value
Internal expertise in the company
Project demands

First of all, the industry has to be forward-leaning. It is easier to implement different types of software into the specific project if requirements come from management further up in the system. Furthermore, the designers should finish their work well in advance of the production, to ensure that the needed information is ready in time to be used as input into the software.

In addition for most software, a structured BIM in a correct file format must be available. It is also needed that the software is compatible with other software, as it may be implemented with already used management tools.

Information in the type of “unit times” and other necessary project data, must be available and the quality of this should be good and updated. This data should preferably be standardized to make it easier to extract what is desired.

The software must provide credible and realistic output that is easy to understand. That makes the control and processing faster. Many companies would also make prerequisites of seeing good results in others projects before implementing it in their own business. At least the utility of the software must also be greater than the cost of time, resources and license.

A certain degree of competence is also required in the company, which is based on technological understanding and expertise in the actual software. In addition, the user must have experience in both construction scheduling and general construction process in order to check the appropriateness of the solutions provided by the software.

Finally, it is assumed that type of project must have a slightly greater degree of complexity, in order for it to be worth using this type of software rather than traditional scheduling. If further phases than only the structural building are included, the software will have freedom of action to present optimized schedules.

DISCUSSION

HOW CAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE BE USED TODAY

Several software were identified through the informal interviews. However, only a few of them have been tested in the Norwegian construction industry. Despite the fact that three contractors have tested ALICE, few of the other contractors who were contacted had even heard about those types of software.

Identifying the six software was a relatively straightforward process, in the way that they were easily accessible using relevant keywords through the literature search. It seems like all of them are relatively new as well. The combination of that it was easy to identify

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

the software, and at the same time relatively new, shows that there is likely to be increased interest and demand for this type of software today.

The software have different approaches, and the artificial intelligence also works in different ways. The interviews with the contractors did not indicate that any of the software was by far more useful than the others. Artificial intelligence can thus be useful for everything from simulations, optimization of construction schedules, recognition of BIM elements, to highlighting risks. Which approach who would be most useful depends largely on factors such as the need of the company, the phase of the project and the available data.

For example, nPlan and InEight Schedule offer a solution that uses machine learning. This requires access to a large amount of data and will therefore not be a relevant solution for all contractors. As mentioned by Mohammadpour et.al. (2019), lack of data is one of the biggest challenges in the construction industry.

The fact that the testing of ALICE resulted in such a small difference in the number of days of the construction schedules, is very positive. This shows that such software does not necessarily change too much regarding building solutions and activities in the plan, and it may potentially save time making the schedule rather than using traditional processes.

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

As mentioned, the interview subjects listed their point of view, and several of these were also observed throughout the case study.

It is a clear advantage that it is possible to get several alternatives by using those types of software, since today's process usually results in only one schedule. Several alternatives allow for a greater assessment of which schedule who will be the best for each project. Levy and Skjærstad (2017) state that schedules have different degrees of detail according to which phase they are to be used in. It is therefore positive that for example ALICE can be used for any level in a plan hierarchy. The use of AI can therefore provide better quality in the construction schedules, in order to save time and costs in the projects.

Furthermore, the use of such tools is experienced as a streamlining of the scheduling process. As already mentioned, preparation of schedules is a comprehensive process. This is also confirmed by Chen et.al. (2012), which emphasizes that construction projects have a unique character and that planning them requires a lot of time. By using software such as ALICE, several alternative schedules can be obtained in a very short time, provided that all necessary information is available. It is thus not only the result in the form of the schedule that can benefit from AI, but also the scheduling process itself. With this, artificial intelligence provides good opportunities for effective planning.

Chen et.al (2012) explains that construction projects are becoming increasingly complex. Given that an increasing number of large construction projects are experiencing major delays and changes, it is clear that it's time to use software who manage complexity. Using artificial intelligence can help solve this, since a machine keeps much better control of large amounts of data. This also confirms Mohammadpour et.al. (2019), in a way that AI can offer exceptional benefits in increasing automation in the industry, and further overcoming human limitations in processing large volumes of data.

A clear disadvantage, however, is that the construction industry is behind when it comes to digitization. Yeoh et.al (2017) also confirm this, noting that the AEC industry has so far been reluctant to implement automated methods to produce schedules. It is thus

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

understandable that the construction industry can be perceived as conservative and unwilling to change, and as the interview subjects pointed out a difficult environment to change things in. It would therefore be a challenge to implement artificial intelligence in an industry that is already behind the digital front.

Lack of trust is another disadvantage, which was observed both through the interview and case study. According to Schia (2019), today's work process and software are characterized by transparent technology, which means that it is the human who controls how input are transformed into output. The schedules is thus a result of human intelligence, which results in a comfortable level of understanding by building trust in both technology and the plan. Therefore, it is a disadvantage that time must be spent on overcoming human factors. The challenge of overcoming human factors can also be one of the reasons why the industry is behind in the implementation of new technology.

It was early observed a disadvantage of software such as ALICE often lacks the human ability to assess whether the plan is feasible. This is also linked to Eber's (2020) study, which states that artificial intelligence has the disadvantage that it does not give the ability to prioritize or use creativity. It doesn't matter if you can quickly get out a schedule that gives a short total duration, if the schedule proposes solutions and activity sequences that are not sensible or feasible. If the schedule is not always appropriate, this will also affect the previous disadvantage, as it becomes difficult to trust the software.

In addition to the mentioned disadvantages, several missing features were identified by the ALICE software. The software is under continuous development, and this may be a reason why the software has not been used by so many Norwegian contractors yet, as software such as ALICE is new to the market and therefore not fully developed. All of the disadvantages may be interpreted as a chain reaction, where the level of software affect the disadvantages of the industry directly.

PREREQUISITES FOR THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

First and foremost, the people in the management of the industry will have an important role. Implementing a new tool is extremely time-, resource-consuming and costly. It was pointed out that it can be challenging to use software that uses AI scheduling, if there is no incentive or requirement to do this either from the client or from the management of a contractor.

Furthermore, contractors in the construction industry will only use a new tool if the tool can provide them with good enough value. A contractor will not use artificial intelligence in scheduling, unless it can provide more value than it would obtain by using traditional methods. Therefore the software has to have among other things, a high ease of use.

Artificial intelligence is new and advanced technology for the construction industry. Implementation of software that uses artificial intelligence will therefore require the existing technology used in the industry today. With the use of more advanced technology and especially machine learning, the data produced in the construction projects today must also be set. Eber (2020) states that several studies show that neither experience nor knowledge from construction projects is documented, neither in structured nor unstructured form. Furthermore, the software developer must consider that this is new technology to be implemented in an already well-established industry. They must therefore ensure facilitating compatibility with other tools.

In order for software such as ALICE to maximize profit, project characteristics should be taken into account. The informants revealed that they had a greater faith in new

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

buildings rather than rehabilitation projects, using ALICE. Furthermore, the interviews revealed that complexity played a crucial role. This was also observed in the case study, as ALICE did not seem to have many enough attack points to work with, and therefore resulted in little variation in the various schedules proposed. Thus, it is a prerequisite that the project and the model should have some complexity in order for the software to have enough room for manage, and thus the opportunity to achieve more optimized plans than in traditional planning.

Finally, the last requirement is that the company must have some form of expertise in different fields. The user of the software must have a general technological understanding. It was revealed in the interviews that there is a lack of this in the industry today. Furthermore, there must be experience in both construction scheduling and the construction process. If not, it is of no use to implement a software immediately, since the human must still be present to control and make decisions. This was also experienced through the case study, as the authors did not have much experience with construction scheduling or building methods of the industry beyond their education.

CONCLUSION

Through a literature study, semi-structured and informal interviews, and a case study, the paper sought to elucidate how using software that uses artificial intelligence can help optimize progress planning. This is done through three research questions.

The study shows that there are several available software on the market, but few contractors in Norway have tried them. The software have different approaches and different ways of using artificial intelligence, and the type of software must be selected according to the needs and wishes of the company.

The benefits of using artificial intelligence show that optimized construction schedules and a more efficient planning process may be achieved. The schedules provide realistic results and good indications. The software manage complex in projects far better than the human intelligence. Overall it is potential to save time and cost for the contractors.

The disadvantages of this are that the construction industry is still behind when it comes to digitization, and that makes it difficult to build confidence of that the tool actually works. This is due to software lack of intuition and therefore may suggest plans that are not practically feasible. Furthermore, it takes a lot of time in the beginning to learn the software and to manage all the features.

The most important prerequisites for it to be appropriate for general contractors to use this, are that the actors in a construction project must be interested in implementing it. It is presumed that the software must have a high ease of use, and data generated in the industry must be more standardized to more easily extract numbers that can be used as input.

The software has to produce realistic results to get the companies ready to use it, and the company must have people with expertise in both technological understanding and knowledge related to construction scheduling and the overall construction process. The final premise is that the greater the complexity and size of the project, the greater the freedom of action and ability to optimize the plan the software gets.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the Norwegian contractor Veidekke for their contribution to the study. Without them it wouldn't have been possible to conduct the case study, which

Vedlegg D.1 - Utkast til vitenskapelig artikkel

was based on one of their real construction projects in Trondheim, Norway. Furthermore, the authors would like to thank Veidekke, AF Gruppen, Kruse Smith and Holte for participating with interview objects.

REFERENCES

- Aljebory, K. M., and QaisIssam, M. (2019). "Developing AI Based Scheme for Project Planning by Expert Merging Revit and Primavera Software."
- Chen, S.-M., Griffis, F. H., and Chang, L.-M. (2012). "Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling." Elsevier, USA, 99–113.
- K. W. Yeoh, J., Nguyen, T. Q., and L. S. Abbott, E. (2017). "Construction Method Models Using Context Aware Construction Requirements for Automated Schedule Generation." ASCE.
- Levy, O. J., and Skjærstad, E. M. (2017). "Fremdriftsplanlegging i totalentrepriser." Masteroppgave, Norges teknisk-vitenskapelige universitet.
- Mohammadpour, A., Karan, E., and Asadi, S. (2019). "Artificial Intelligence Techniques to Support Design and Construction." ISARC, USA.
- Mubarak, S. (2010). *Construction Project Sheduling and Control*. Pearson Education, Hoboken, New Jersey.
- PMI. (2008). "What is Project Management?"
- Samset, K. (2015). *Prosjekt i tidligfasen*. Fagbokforlaget, Bergen.
- Sander, K. (2020). "Fremdriftsplan."
- Schia, M. H. (2019). "The Introduction of AI in the Construction Industry and its Impact on Human Behavior."

Vedlegg E - Casestudie

Vedlegg E.1 - Prosjektkressurser i ALICE

Oversikt over prosjektkressurser (Project Resources)



Project Resources

Create and Edit the resources available to all plans for this project.

Note: Changing these will not impact any schedules previously generated.



LABOR



EQUIPMENT



CRANES



MILESTONES



MATERIALS



RATES



CALENDARS

Arbeidskraft (Labor)

8 Crews with Unassigned Subcontractors

Crew	# Available	kr / Hr	Calendar	
Badekabiner	2	0	Felleskalender m/ helligdager	⚙️
Betongdekke	6	315	Felleskalender m/ helligdager	⚙️
Betongvegg	5	315	Felleskalender m/ helligdager	⚙️
Elektro	2	0	Felleskalender m/ helligdager	⚙️
Herding (natt)	∞	0	Herding (nattearbeid)	⚙️
Rør	2	0	Felleskalender m/ helligdager	⚙️
Stål	4	0	Felleskalender m/ helligdager	⚙️
Trapp og balkong	2	0	Felleskalender m/ helligdager	⚙️

Utstyr (Equipment)

Ingen utstyr brukt.

Vedlegg E.1 - Prosjektkressurser i ALICE

Kraner (Cranes)

1 Crane

Kran - Mobile

Properties Locations

Name	Type	Radius - M	Move Time - Hrs	Qty of Cranes	kr / Hr
Kran	Moveable	70	1	1	0

⚙️

Milepæler (Milestones)

Ingen milepæler brukt.

Materialer (Materials)

6 Materials

Material	Type	Qty Avail.	/ Unit
Armering	Consumable	∞	7.5
Betong	Consumable	∞	1300
Forskaling papp søyle	Consumable	∞	345
Forskaling system dekke	Reusable	∞	2.8
Forskaling system vegg	Reusable	∞	4.8
Forskaling tradisjonell dekke	Reusable	∞	1.6

Produksjonsrater (Rates)

Ingen produksjonsrater brukt.

Vedlegg E.1 - Prosjektkressurser i ALICE

Kalendere (Calendars)

2 Calendars

Name	Used by Crews	Used by Plans	Workweeks Used			
Felleskalender m/helligdager	7	2	2	Copy	Edit	Delete
Herdning (nattearbeid)	1	2	1	Copy	Edit	Delete

3 Workweeks

Name: Default workweek | Total Weekly Work: 40 Working Hours

Monday Tuesday Wednesday Thursday Friday Saturday Sunday

Work Hours - 24hr time: 1.5 + Overtime Hours

Working hours: 07-15 (1 x Pay)

Name: Helligdager | Total Weekly Work: 0 Working Hours

Monday Tuesday Wednesday Thursday Friday Saturday Sunday

Work Hours - 24hr time: 1 + Add Normal Hours

Name: Nattearbeid | Total Weekly Work: 63 Working Hours

Monday Tuesday Wednesday Thursday Friday Saturday Sunday

Work Hours - 24hr time: 1.5 + Overtime Hours

Working hours: 15-23 (1 x Pay)

Vedlegg E.2 - Recipes i ALICE

Oversikt over oppskrifter (Recipes)

Hver oppskrift med detaljert innhold blir presentert videre.

Betongdekker

Navn på oppgave	Arbeidslag, antall	Kran	Materiale, mengde	Varighet
Forskaling av dekkeflate	Betongdekke, 4-6	Ja	Forskaling system dekke, $((\text{el.surface_area} - \text{el.lateral_surface_area})/2)$	$((\text{el.surface_area} - \text{el.lateral_surface_area})/2) * 0.45 / \text{num_crews}$
Forskaling av nedsenk badekabin	Betongdekke, 1-4	Nei	Forskaling tradisjonell dekke, 20	$4 / \text{num_crews}$
Forskaling av forkant	Betongdekke, 1-4	Ja	Forskaling tradisjonell dekke, $\text{el.lateral_surface_area}/2$	$(((((\text{el.surface_area} - \text{el.lateral_surface_area})/2)^{0.5}) * 4) * 0.25) / \text{num_crews}$
Armering	Betongdekke, 3-6	Ja	Armering, $\text{el.volume} * 120$	$(120 * \text{el.volume} * 0.014) / \text{num_crews}$
Skjultanlegg rør	Rør, 2-2	Nei		2*8
Skjultanlegg el	Elektro, 2-2	Nei		8
Plasstøp	Betongdekke, 3-5	Nei	Betong, el.volume	$\text{el.volume} * 0.4 / \text{num_crews}$
Avtrekking/brettskuring	Betongdekke, 2-5	Nei		$((\text{el.surface_area} - \text{el.lateral_surface_area})/4) * 0.1 / \text{num_crews}$
Herding	Herding (natt), 1-1	Nei		8
Riving	Betongdekke, 4-6	Nei		$((\text{el.surface_area} - \text{el.lateral_surface_area})/2) * 0.2 / \text{num_crews}$

Vedlegg E.2 - Recipes i ALICE

Betongsøyler

Navn på oppgave	Arbeidslag, antall	Kran	Materiale, mengde	Varighet
Forskaling	Betongvegg, 1-2	Nei	Forskaling papp søyle, $el.volume/(3.14*0.2*0.2)$	$(el.num_elements*1)/num_crews$
Armering	Betongvegg, 1-2	Ja	Armering, $el.volume*80$	$(80*el.volume*0.025)/num_crews$
Støp	Betongvegg, 1-2	Nei	Betong, $el.volume$	$(el.num_elements*1)/num_crews$
Herding	Herding (natt), 1-1	Nei		8
Riving	Betongvegg, 1-2	Nei		$(el.num_elements*0.5)/num_crews$

Betongvegger

Navn på oppgave	Arbeidslag, antall	Kran	Materiale, mengde	Varighet
Forskaling	Betongvegg, 2-5	Ja	Forskaling system vegg, $(el.lateral_surface_area/2)$	$((el.lateral_surface_area)/2)*0.4)/num_crews$
Skjultanlegg el	Elektro, 2-2	Nei		30
Armering	Betongvegg, 1-5	Ja	Armering, $el.volume*80$	$(80*el.volume*0.016)/num_crews$
Forskaling lukke vegg	Betongvegg, 1-5	Ja		$((el.lateral_surface_area)/2)*0.4)/num_crews$

Vedlegg E.2 - Recipes i ALICE

Plasstøp	Betongvegg, 1-3	Nei	Betong, el.volume	$(el.volume*0.5)/num_crews$
Herding	Herding (natt), 1-1	Nei		8
Riving	Betongvegg, 2-5	Nei		$((el.lateral_surface_area)/2)*0.2)/num_crews$

Montering badekabin

Navn på oppgave	Arbeidslag, antall	Kran	Materiale, mengde	Varighet
Heising	Badekabiner, 2-2	Ja		$(el.num_elements*1.5)$

Montering balkong

Navn på oppgave	Arbeidslag, antall	Kran	Materiale, mengde	Varighet
Montering	Trapp og balkong, 2-2	Nei		$(8/5)*el.num_elements$

Montering stål

Navn på oppgave	Arbeidslag, antall	Kran	Materiale, mengde	Varighet
Stillas	Stål, 2-2	Nei		24
Heising og sveising	Stål, 2-2	Nei		40

Vedlegg E.2 - Recipes i ALICE

Montering trapp

Navn på oppgave	Arbeidslag, antall	Kran	Materiale, mengde	Varighet
Heising	Trapp og balkong, 2-2	Ja		3*2.5

Topp heissjakt

Navn på oppgave	Arbeidslag, antall	Kran	Materiale, mengde	Varighet
Forskaling av dekkeflate	Betongdekke, 4-6	Nei	Forskaling tradisjonell dekke, $((el.surface_area - el.lateral_surface_area)/2)$	$((el.surface_area - el.lateral_surface_area)/2)*0.45/num_crews$
Forskaling av forkant	Betongdekke, 1-4	Nei	Forskaling tradisjonell dekke, $el.lateral_surface_area/2$	$(((((el.surface_area - el.lateral_surface_area)/2)^{0.5})^4)*0.25)/num_crews$
Armering	Betongdekke, 3-6	Nei	Armering, $el.volume*120$	$(120*el.volume*0.014)/num_crews$
Plasstøp	Betongdekke, 3-5	Nei	Betong, $el.volume$	$el.volume*0.4/num_crews$
Avtrekking/brettskuring	Betongdekke, 2-5	Nei		$((el.surface_area - el.lateral_surface_area)/2)*0.1/num_crews$
Herding	Herding (natt), 1-1	Nei		8
Riving	Betongdekke, 4-6	Nei		$((el.surface_area - el.lateral_surface_area)/2)*0.2/num_crews$

Vedlegg E.2 - Recipes i ALICE

Benyttede enhetstider og -kostnader

Informasjon som blir presentert videre er erfaringstall innhentet fra Veidekke, PERI, Ølen Betong og Smith Stål.

Enhetstider for armering per konstruksjonsdel

Konstruksjonsdel	Mengde [kg/m3]	Enhetstid [tv/kg]
Vegger	80	0,0125
Dekker	120	0,0125
Søyler Sirkulær	80	0,0125

Enhetskostnader- og tider for ulike aktiviteter

Aktivitet	Kostnad [kr/enhet]	Enhetstid [tv/enhet]
Forskaling vegg (3,3 m høy)	4,8	-
Forskaling dekke tradisjonell eks finer	1,6	0,5 [t/m2]
Forskaling dekke system	2,8	0,25 [t/m2]
Forskaling rund søyle papp	435 [kr/lm]	Kun heising
Støping rund søyle	-	3,0 [m/t]
Armering	7,5 [kr/kg]	-
Betong B30	1500 [kr/m3]	-

Vedlegg E.2 - Recipes i ALICE

Enhetstider for ulike aktiviteter

Aktivitet	Enhetstid [tv/enhet]
Dekke	
Forskaling	0,45 [t/m ²]
Forskaling av steng (omkrets av dekket)	0,25 [t/lm]
Forskaling av nedsenk bad	1,0 [t/stk]
Armering	0,014 [t/kg]
Støping	0,4 [t/m ³]
Avtrekking/brettskuring	0,1 [t/m ²]
Riving	0,2 [t/m ²]
Vegg	
Forskaling	0,4 [t/m ²]
Utsparing dører	2,2 [t/stk]
Armering	0,016 [t/kg]
Støping	0,5 [t/m ³]
Søyle	
Forskaling	1,0 [t/m ²]
Armering	0,025 [t/kg]
Støping	1,0 [t/m ³]

Vedlegg E-3 - Fremdriftsplan i ALICE

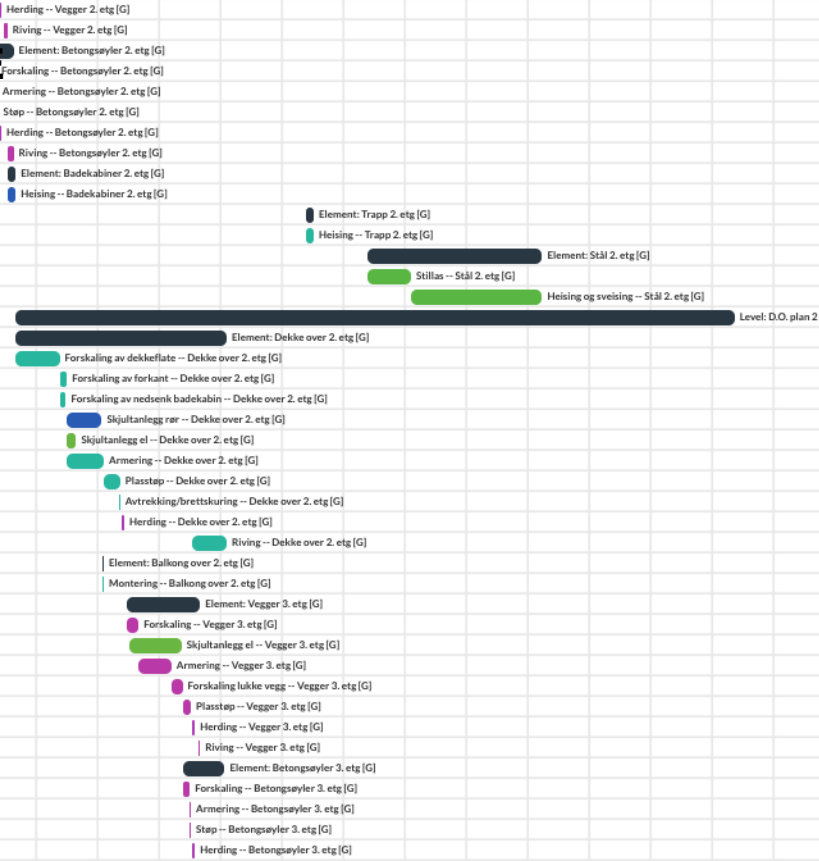
View: **WBS** | Start Time: **2019-01-22** | End Time: **2019-07-05**

filter: value, e.g. crew: Carpenter*

Task	Start	Finish	2019																											
			01/21	01/28	02/04	02/11	02/18	02/25	03/04	03/11	03/18	03/25	04/01	04/08	04/15	04/22	04/29	05/06	05/13	05/20	05/27	06/03	06/10	06/17	06/24	07/01	07/08	07/15	07/22	07/29
NærByen > Untitled	01/22/2019	07/05/2019	NærByen > Untitled																											
Level: D.O. U1	01/22/2019	03/25/2019	Level: D.O. U1																											
Element: Vegger 1. etg [G]	01/22/2019	01/31/2019	Element: Vegger 1. etg [G]																											
Forskaling -- Vegger 1. etg [G]	01/22/2019	01/23/2019	Forskaling -- Vegger 1. etg [G]																											
Skjultanlegg el -- Vegger 1. etg [G]	01/22/2019	01/28/2019	Skjultanlegg el -- Vegger 1. etg [G]																											
Armering -- Vegger 1. etg [G]	01/23/2019	01/25/2019	Armering -- Vegger 1. etg [G]																											
Forskaling lukke vegg -- Vegger 1. etg [G]	01/25/2019	01/29/2019	Forskaling lukke vegg -- Vegger 1. etg [G]																											
Plasstep -- Vegger 1. etg [G]	01/29/2019	01/29/2019	Plasstep -- Vegger 1. etg [G]																											
Herdning -- Vegger 1. etg [G]	01/29/2019	01/29/2019	Herdning -- Vegger 1. etg [G]																											
Riving -- Vegger 1. etg [G]	01/30/2019	01/31/2019	Riving -- Vegger 1. etg [G]																											
Element: Betongsøyler 1. etg [G]	01/23/2019	01/30/2019	Element: Betongsøyler 1. etg [G]																											
Forskaling -- Betongsøyler 1. etg [G]	01/23/2019	01/24/2019	Forskaling -- Betongsøyler 1. etg [G]																											
Armering -- Betongsøyler 1. etg [G]	01/29/2019	01/29/2019	Armering -- Betongsøyler 1. etg [G]																											
Støp -- Betongsøyler 1. etg [G]	01/29/2019	01/29/2019	Støp -- Betongsøyler 1. etg [G]																											
Herdning -- Betongsøyler 1. etg [G]	01/29/2019	01/29/2019	Herdning -- Betongsøyler 1. etg [G]																											
Riving -- Betongsøyler 1. etg [G]	01/30/2019	01/30/2019	Riving -- Betongsøyler 1. etg [G]																											
Element: Badekabiner 1. etg [G]	01/31/2019	02/01/2019	Element: Badekabiner 1. etg [G]																											
Heising -- Badekabiner 1. etg [G]	01/31/2019	02/01/2019	Heising -- Badekabiner 1. etg [G]																											
Element: Trapp 1. etg [G]	03/04/2019	03/05/2019	Element: Trapp 1. etg [G]																											
Heising -- Trapp 1. etg [G]	03/04/2019	03/05/2019	Heising -- Trapp 1. etg [G]																											
Element: Stål 1. etg [G]	03/13/2019	03/25/2019	Element: Stål 1. etg [G]																											
Stillas -- Stål 1. etg [G]	03/13/2019	03/18/2019	Stillas -- Stål 1. etg [G]																											
Heising og sveising -- Stål 1. etg [G]	03/18/2019	03/25/2019	Heising og sveising -- Stål 1. etg [G]																											
Level: D.O. plan 1	02/01/2019	04/23/2019	Level: D.O. plan 1																											
Element: Dekke over 1. etg [G]	02/01/2019	02/22/2019	Element: Dekke over 1. etg [G]																											
Forskaling av dekkeflate -- Dekke over 1. etg [G]	02/01/2019	02/06/2019	Forskaling av dekkeflate -- Dekke over 1. etg [G]																											
Forskaling av forkant -- Dekke over 1. etg [G]	02/06/2019	02/07/2019	Forskaling av forkant -- Dekke over 1. etg [G]																											
Forskaling av nedsenk badekabin -- Dekke over 1. etg [G]	02/06/2019	02/06/2019	Forskaling av nedsenk badekabin -- Dekke over 1. etg [G]																											
Armering -- Dekke over 1. etg [G]	02/07/2019	02/11/2019	Armering -- Dekke over 1. etg [G]																											
Skjultanlegg rør -- Dekke over 1. etg [G]	02/07/2019	02/11/2019	Skjultanlegg rør -- Dekke over 1. etg [G]																											
Skjultanlegg el -- Dekke over 1. etg [G]	02/07/2019	02/08/2019	Skjultanlegg el -- Dekke over 1. etg [G]																											
Plasstep -- Dekke over 1. etg [G]	02/11/2019	02/12/2019	Plasstep -- Dekke over 1. etg [G]																											
Avtrekking/brettskuring -- Dekke over 1. etg [G]	02/12/2019	02/12/2019	Avtrekking/brettskuring -- Dekke over 1. etg [G]																											
Herdning -- Dekke over 1. etg [G]	02/12/2019	02/12/2019	Herdning -- Dekke over 1. etg [G]																											
Riving -- Dekke over 1. etg [G]	02/20/2019	02/22/2019	Riving -- Dekke over 1. etg [G]																											
Element: Balkong over 1. etg [G]	02/11/2019	02/11/2019	Element: Balkong over 1. etg [G]																											
Montering -- Balkong over 1. etg [G]	02/11/2019	02/11/2019	Montering -- Balkong over 1. etg [G]																											
Element: Vegger 2. etg [G]	02/13/2019	02/21/2019	Element: Vegger 2. etg [G]																											
Forskaling -- Vegger 2. etg [G]	02/13/2019	02/14/2019	Forskaling -- Vegger 2. etg [G]																											
Skjultanlegg el -- Vegger 2. etg [G]	02/13/2019	02/19/2019	Skjultanlegg el -- Vegger 2. etg [G]																											
Armering -- Vegger 2. etg [G]	02/14/2019	02/18/2019	Armering -- Vegger 2. etg [G]																											
Forskaling lukke vegg -- Vegger 2. etg [G]	02/18/2019	02/19/2019	Forskaling lukke vegg -- Vegger 2. etg [G]																											
Plasstep -- Vegger 2. etg [G]	02/19/2019	02/20/2019	Plasstep -- Vegger 2. etg [G]																											

Vedlegg E.3 - Fremdriftsplan i ALICE

Herdings -- Vegger 2. etg [G]	02/20/2019	02/20/2019
Riving -- Vegger 2. etg [G]	02/21/2019	02/21/2019
Element: Betongsøyler 2. etg [G]	02/19/2019	02/20/2019
Forskaling -- Betongsøyler 2. etg [G]	02/19/2019	02/20/2019
Armering -- Betongsøyler 2. etg [G]	02/20/2019	02/20/2019
Støp -- Betongsøyler 2. etg [G]	02/20/2019	02/20/2019
Herdings -- Betongsøyler 2. etg [G]	02/20/2019	02/20/2019
Riving -- Betongsøyler 2. etg [G]	02/21/2019	02/22/2019
Element: Badekabiner 2. etg [G]	02/21/2019	02/22/2019
Heising -- Badekabiner 2. etg [G]	02/21/2019	02/22/2019
Element: Trapp 2. etg [G]	03/27/2019	03/28/2019
Heising -- Trapp 2. etg [G]	03/27/2019	03/28/2019
Element: Stål 2. etg [G]	04/03/2019	04/23/2019
Stillas -- Stål 2. etg [G]	04/03/2019	04/08/2019
Heising og sveising -- Stål 2. etg [G]	04/08/2019	04/23/2019
Level: D.O. plan 2	02/22/2019	05/15/2019
Element: Dekke over 2. etg [G]	02/22/2019	03/18/2019
Forskaling av dekkeflate -- Dekke over 2. etg [G]	02/22/2019	02/27/2019
Forskaling av forkant -- Dekke over 2. etg [G]	02/27/2019	02/28/2019
Forskaling av nedsenk badekabin -- Dekke over 2. etg [G]	02/27/2019	02/28/2019
Skjultanlegg rør -- Dekke over 2. etg [G]	02/28/2019	03/04/2019
Skjultanlegg el -- Dekke over 2. etg [G]	02/28/2019	03/01/2019
Armering -- Dekke over 2. etg [G]	02/28/2019	03/04/2019
Plasstøp -- Dekke over 2. etg [G]	03/04/2019	03/06/2019
Avtrekking/brettskuring -- Dekke over 2. etg [G]	03/06/2019	03/06/2019
Herdings -- Dekke over 2. etg [G]	03/06/2019	03/06/2019
Riving -- Dekke over 2. etg [G]	03/14/2019	03/18/2019
Element: Balkong over 2. etg [G]	03/04/2019	03/04/2019
Montering -- Balkong over 2. etg [G]	03/04/2019	03/04/2019
Element: Vegger 3. etg [G]	03/07/2019	03/15/2019
Forskaling -- Vegger 3. etg [G]	03/07/2019	03/08/2019
Skjultanlegg el -- Vegger 3. etg [G]	03/07/2019	03/13/2019
Armering -- Vegger 3. etg [G]	03/08/2019	03/12/2019
Forskaling lukke vegg -- Vegger 3. etg [G]	03/12/2019	03/13/2019
Plasstøp -- Vegger 3. etg [G]	03/13/2019	03/14/2019
Herdings -- Vegger 3. etg [G]	03/14/2019	03/14/2019
Riving -- Vegger 3. etg [G]	03/15/2019	03/15/2019
Element: Betongsøyler 3. etg [G]	03/13/2019	03/18/2019
Forskaling -- Betongsøyler 3. etg [G]	03/13/2019	03/14/2019
Armering -- Betongsøyler 3. etg [G]	03/14/2019	03/14/2019
Støp -- Betongsøyler 3. etg [G]	03/14/2019	03/14/2019
Herdings -- Betongsøyler 3. etg [G]	03/14/2019	03/14/2019



Vedlegg E.3 - Fremdriftsplan i ALICE

Riving -- Betongsøyler 3. etg [G]	03/15/2019	03/18/2019
Element: Badekabiner 3. etg [G]	03/15/2019	03/18/2019
Heising -- Badekabiner 3. etg [G]	03/15/2019	03/15/2019
Heising -- Trapp 3. etg [G]	04/25/2019	04/26/2019
Element: Stål 3. etg [G]	05/03/2019	05/15/2019
Stillas -- Stål 3. etg [G]	05/03/2019	05/08/2019
Heising og sveising -- Stål 3. etg [G]	05/08/2019	05/15/2019
Level: D.O. plan 3	03/18/2019	06/06/2019
Element: Dekke over 3. etg [G]	03/18/2019	04/08/2019
Forskaling av dekkeflate -- Dekke over 3. etg [G]	03/18/2019	03/21/2019
Forskaling av forkant -- Dekke over 3. etg [G]	03/21/2019	03/22/2019
Forskaling av nedsenk badekabin -- Dekke over 3. etg [G]	03/21/2019	03/21/2019
Armering -- Dekke over 3. etg [G]	03/22/2019	03/27/2019
Skjultanlegg rør -- Dekke over 3. etg [G]	03/22/2019	03/26/2019
Skjultanlegg el -- Dekke over 3. etg [G]	03/22/2019	03/25/2019
Plasstøp -- Dekke over 3. etg [G]	03/27/2019	03/28/2019
Avtrekking/brettskuring -- Dekke over 3. etg [G]	03/28/2019	03/28/2019
Herding -- Dekke over 3. etg [G]	03/28/2019	03/28/2019
Riving -- Dekke over 3. etg [G]	04/04/2019	04/08/2019
Element: Balkong over 3. etg [G]	03/27/2019	03/27/2019
Montering -- Balkong over 3. etg [G]	03/27/2019	03/27/2019
Element: Vegger 4. etg [G]	03/29/2019	04/05/2019
Forskaling -- Vegger 4. etg [G]	03/29/2019	04/01/2019
Skjultanlegg el -- Vegger 4. etg [G]	03/29/2019	04/04/2019
Armering -- Vegger 4. etg [G]	04/01/2019	04/02/2019
Forskaling lukke vegg -- Vegger 4. etg [G]	04/02/2019	04/04/2019
Plasstøp -- Vegger 4. etg [G]	04/04/2019	04/04/2019
Herding -- Vegger 4. etg [G]	04/04/2019	04/04/2019
Riving -- Vegger 4. etg [G]	04/05/2019	04/05/2019
Element: Badekabiner 4. etg [G]	04/05/2019	04/08/2019
Heising -- Badekabiner 4. etg [G]	04/05/2019	04/08/2019
Element: Trapp 4. etg [G]	05/15/2019	05/16/2019
Heising -- Trapp 4. etg [G]	05/15/2019	05/16/2019
Element: Stål 4. etg [G]	05/23/2019	06/06/2019
Stillas -- Stål 4. etg [G]	05/23/2019	05/28/2019
Heising og sveising -- Stål 4. etg [G]	05/28/2019	06/06/2019
Level: D.O. plan 4	04/08/2019	06/24/2019
Element: Dekke over 4. etg [G]	04/08/2019	05/08/2019
Forskaling av dekkeflate -- Dekke over 4. etg [G]	04/08/2019	04/11/2019
Forskaling av nedsenk badekabin -- Dekke over 4. etg [G]	04/11/2019	04/12/2019
Forskaling av forkant -- Dekke over 4. etg [G]	04/11/2019	04/12/2019

- Riving -- Betongsøyler 3. etg [G]
- Element: Badekabiner 3. etg [G]
- Heising -- Badekabiner 3. etg [G]

- Element: Trapp 3. etg [G]
- Heising -- Trapp 3. etg [G]
- Element: Stål 3. etg [G]
- Stillas -- Stål 3. etg [G]
- Heising og sveising -- Stål 3. etg [G]

Level: D.O. plan 3

Element: Dekke over 3. etg [G]

Forskaling av dekkeflate -- Dekke over 3. etg [G]

Forskaling av forkant -- Dekke over 3. etg [G]

Forskaling av nedsenk badekabin -- Dekke over 3. etg [G]

Armering -- Dekke over 3. etg [G]

Skjultanlegg rør -- Dekke over 3. etg [G]

Skjultanlegg el -- Dekke over 3. etg [G]

Plasstøp -- Dekke over 3. etg [G]

Avtrekking/brettskuring -- Dekke over 3. etg [G]

Herding -- Dekke over 3. etg [G]

Riving -- Dekke over 3. etg [G]

Element: Balkong over 3. etg [G]

Montering -- Balkong over 3. etg [G]

Element: Vegger 4. etg [G]

Forskaling -- Vegger 4. etg [G]

Skjultanlegg el -- Vegger 4. etg [G]

Armering -- Vegger 4. etg [G]

Forskaling lukke vegg -- Vegger 4. etg [G]

Plasstøp -- Vegger 4. etg [G]

Herding -- Vegger 4. etg [G]

Riving -- Vegger 4. etg [G]

Element: Badekabiner 4. etg [G]

Heising -- Badekabiner 4. etg [G]

Element: Trapp 4. etg [G]

Heising -- Trapp 4. etg [G]

Element: Stål 4. etg [G]

Stillas -- Stål 4. etg [G]

Heising og sveising -- Stål 4. etg [G]

Level: D.O. plan 4

Element: Dekke over 4. etg [G]

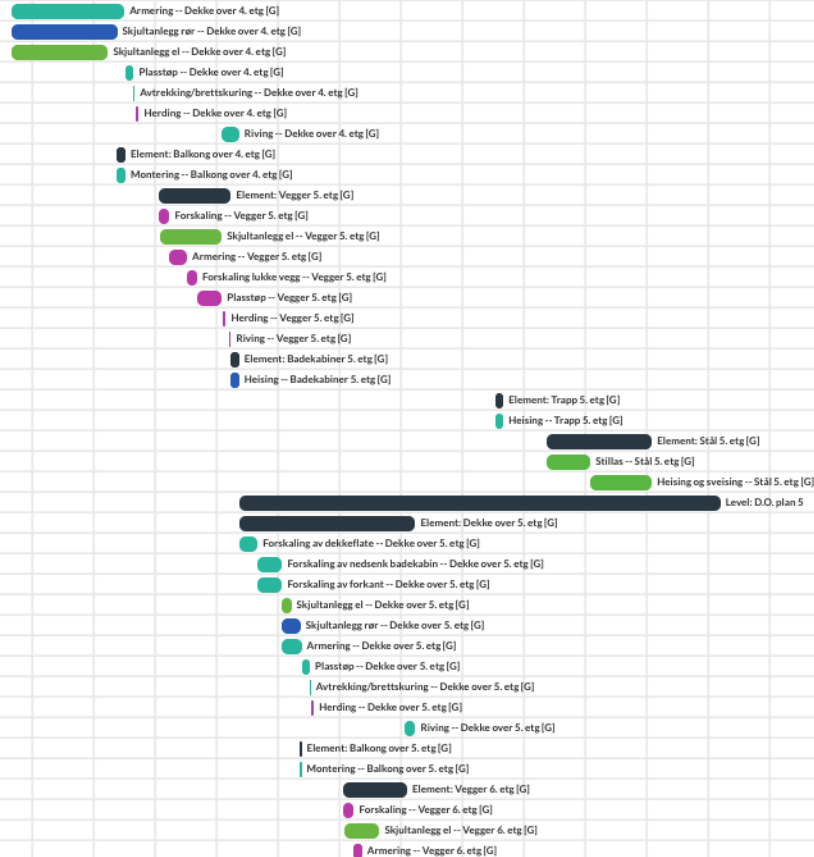
Forskaling av dekkeflate -- Dekke over 4. etg [G]

Forskaling av nedsenk badekabin -- Dekke over 4. etg [G]

Forskaling av forkant -- Dekke over 4. etg [G]

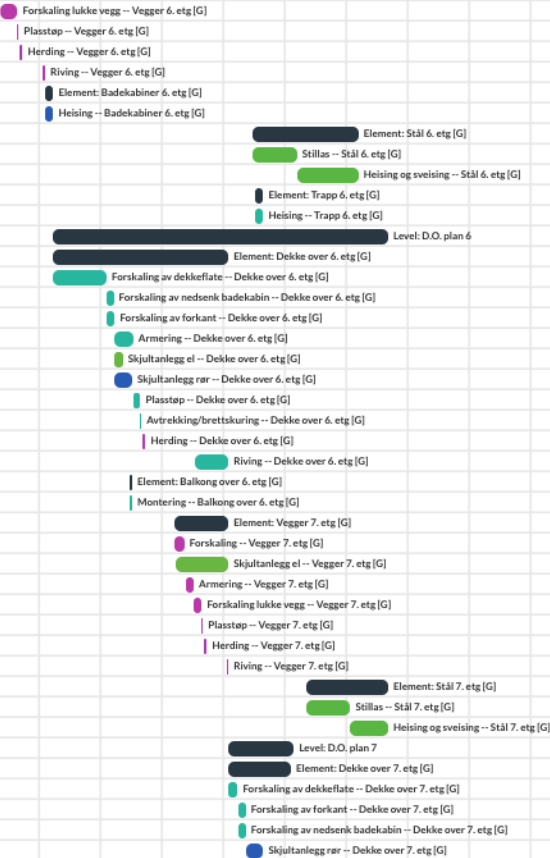
Vedlegg E.3 - Fremdriftsplan i ALICE

Armering -- Dekke over 4. etg [G]	04/12/2019	04/25/2019
Skjultanlegg rør -- Dekke over 4. etg [G]	04/12/2019	04/24/2019
Skjultanlegg el -- Dekke over 4. etg [G]	04/12/2019	04/24/2019
Avtrekking/brettskuring -- Dekke over 4. etg [G]	04/26/2019	04/26/2019
Herding -- Dekke over 4. etg [G]	04/26/2019	04/26/2019
Riving -- Dekke over 4. etg [G]	05/06/2019	05/08/2019
Element: Balkong over 4. etg [G]	04/24/2019	04/25/2019
Montering -- Balkong over 4. etg [G]	04/24/2019	04/25/2019
Element: Vegger 5. etg [G]	04/29/2019	05/07/2019
Forskaling -- Vegger 5. etg [G]	04/29/2019	04/30/2019
Skjultanlegg el -- Vegger 5. etg [G]	04/29/2019	05/06/2019
Armering -- Vegger 5. etg [G]	04/30/2019	05/02/2019
Forskaling lukke vegg -- Vegger 5. etg [G]	05/02/2019	05/03/2019
Plasstøp -- Vegger 5. etg [G]	05/03/2019	05/06/2019
Herding -- Vegger 5. etg [G]	05/06/2019	05/06/2019
Riving -- Vegger 5. etg [G]	05/07/2019	05/07/2019
Element: Badekabiner 5. etg [G]	05/07/2019	05/08/2019
Heising -- Badekabiner 5. etg [G]	05/07/2019	05/08/2019
Element: Trapp 5. etg [G]	06/06/2019	06/07/2019
Heising -- Trapp 5. etg [G]	06/06/2019	06/07/2019
Element: Stål 5. etg [G]	06/12/2019	06/24/2019
Stillas -- Stål 5. etg [G]	06/12/2019	06/17/2019
Heising og sveising -- Stål 5. etg [G]	06/17/2019	06/24/2019
Level: D.O. plan 5	05/08/2019	07/02/2019
Element: Dekke over 5. etg [G]	05/08/2019	05/28/2019
Forskaling av dekkeflate -- Dekke over 5. etg [G]	05/08/2019	05/10/2019
Forskaling av nedsenk badekabin -- Dekke over 5. etg [G]	05/10/2019	05/13/2019
Forskaling av forkant -- Dekke over 5. etg [G]	05/10/2019	05/13/2019
Skjultanlegg el -- Dekke over 5. etg [G]	05/13/2019	05/14/2019
Skjultanlegg rør -- Dekke over 5. etg [G]	05/13/2019	05/15/2019
Armering -- Dekke over 5. etg [G]	05/13/2019	05/15/2019
Plasstøp -- Dekke over 5. etg [G]	05/15/2019	05/16/2019
Avtrekking/brettskuring -- Dekke over 5. etg [G]	05/16/2019	05/16/2019
Herding -- Dekke over 5. etg [G]	05/16/2019	05/16/2019
Riving -- Dekke over 5. etg [G]	05/27/2019	05/28/2019
Element: Balkong over 5. etg [G]	05/15/2019	05/15/2019
Montering -- Balkong over 5. etg [G]	05/15/2019	05/15/2019
Element: Vegger 6. etg [G]	05/20/2019	05/27/2019
Forskaling -- Vegger 6. etg [G]	05/20/2019	05/21/2019
Skjultanlegg el -- Vegger 6. etg [G]	05/20/2019	05/24/2019
Armering -- Vegger 6. etg [G]	05/21/2019	05/22/2019



Vedlegg E.3 - Fremdriftsplan i ALICE

Forskaling lukke vegg -- Vegger 6. etg [G]	05/22/2019	05/24/2019
Plasstøp -- Vegger 6. etg [G]	05/24/2019	05/24/2019
Forskaling lukke vegg -- Vegger 6. etg [G]	05/24/2019	05/24/2019
Herding -- Vegger 6. etg [G]	05/24/2019	05/24/2019
Element: Badekabiner 6. etg [G]	05/27/2019	05/28/2019
Heising -- Badekabiner 6. etg [G]	05/27/2019	05/28/2019
Element: Stål 6. etg [G]	06/20/2019	07/02/2019
Stillas -- Stål 6. etg [G]	06/20/2019	06/25/2019
Heising og sveising -- Stål 6. etg [G]	06/25/2019	07/02/2019
Element: Trapp 6. etg [G]	06/20/2019	06/21/2019
Heising -- Trapp 6. etg [G]	06/20/2019	06/21/2019
Level: D.O. plan 6	05/28/2019	07/05/2019
Element: Dekke over 6. etg [G]	05/28/2019	06/17/2019
Forskaling av dekkeflate -- Dekke over 6. etg [G]	05/28/2019	06/03/2019
Forskaling av nedsenk badekabin -- Dekke over 6. etg [G]	06/03/2019	06/04/2019
Forskaling av forkant -- Dekke over 6. etg [G]	06/03/2019	06/04/2019
Armering -- Dekke over 6. etg [G]	06/04/2019	06/06/2019
Skjultanlegg el -- Dekke over 6. etg [G]	06/04/2019	06/05/2019
Skjultanlegg rør -- Dekke over 6. etg [G]	06/04/2019	06/06/2019
Plasstøp -- Dekke over 6. etg [G]	06/06/2019	06/07/2019
Avtrekking/brettskuring -- Dekke over 6. etg [G]	06/07/2019	06/07/2019
Herding -- Dekke over 6. etg [G]	06/07/2019	06/07/2019
Riving -- Dekke over 6. etg [G]	06/13/2019	06/17/2019
Element: Balkong over 6. etg [G]	06/06/2019	06/06/2019
Montering -- Balkong over 6. etg [G]	06/06/2019	06/06/2019
Element: Vegger 7. etg [G]	06/11/2019	06/17/2019
Forskaling -- Vegger 7. etg [G]	06/11/2019	06/12/2019
Skjultanlegg el -- Vegger 7. etg [G]	06/11/2019	06/17/2019
Armering -- Vegger 7. etg [G]	06/12/2019	06/13/2019
Forskaling lukke vegg -- Vegger 7. etg [G]	06/13/2019	06/14/2019
Plasstøp -- Vegger 7. etg [G]	06/14/2019	06/14/2019
Herding -- Vegger 7. etg [G]	06/14/2019	06/14/2019
Riving -- Vegger 7. etg [G]	06/17/2019	06/17/2019
Element: Stål 7. etg [G]	06/26/2019	07/05/2019
Stillas -- Stål 7. etg [G]	06/26/2019	07/01/2019
Heising og sveising -- Stål 7. etg [G]	07/01/2019	07/05/2019
Level: D.O. plan 7	06/17/2019	06/24/2019
Element: Dekke over 7. etg [G]	06/17/2019	06/24/2019
Forskaling av dekkeflate -- Dekke over 7. etg [G]	06/17/2019	06/18/2019
Forskaling av forkant -- Dekke over 7. etg [G]	06/18/2019	06/19/2019
Forskaling av nedsenk badekabin -- Dekke over 7. etg [G]	06/18/2019	06/19/2019
Skjultanlegg rør -- Dekke over 7. etg [G]	06/19/2019	06/21/2019

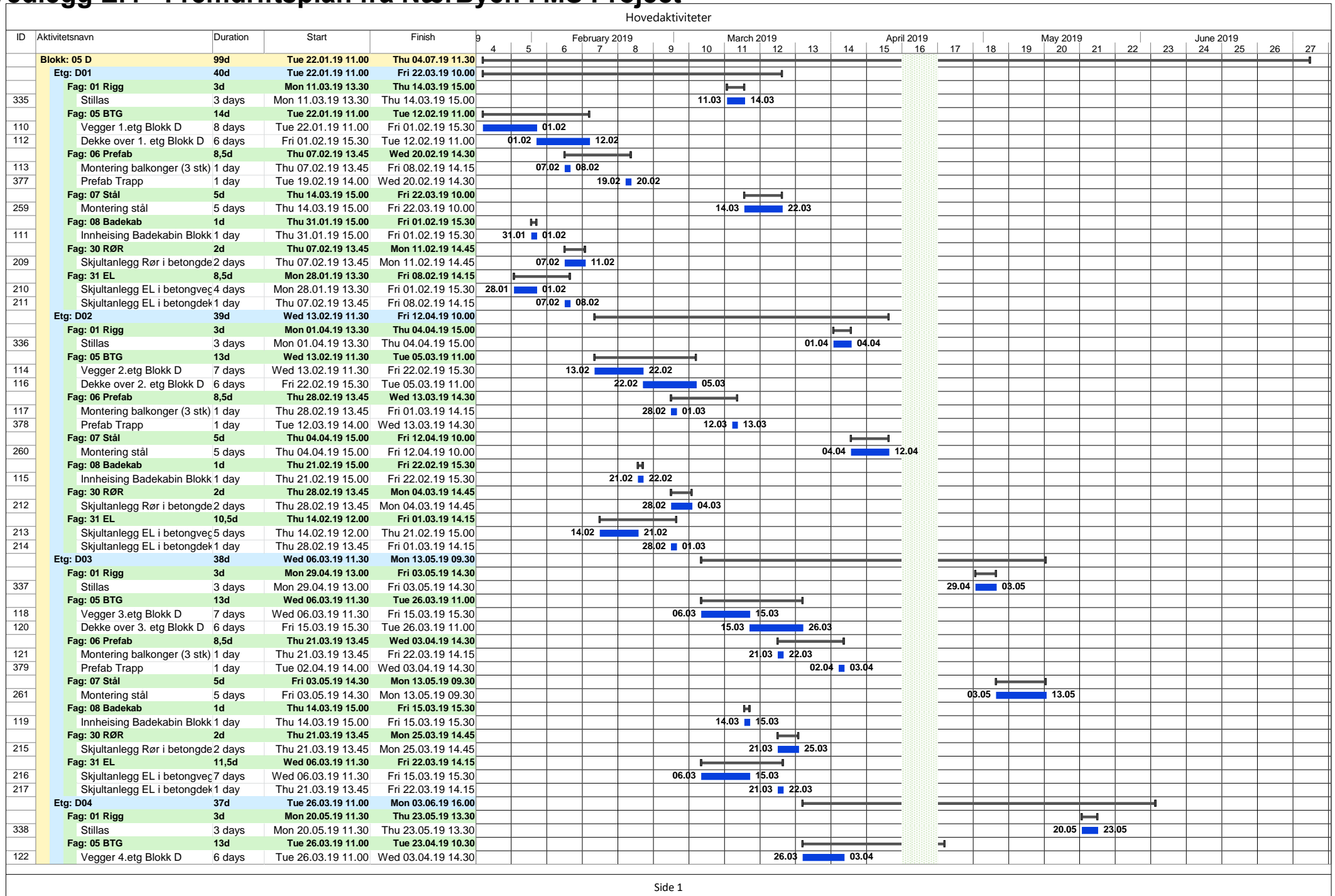


Vedlegg E.3 - Fremdriftsplan i ALICE

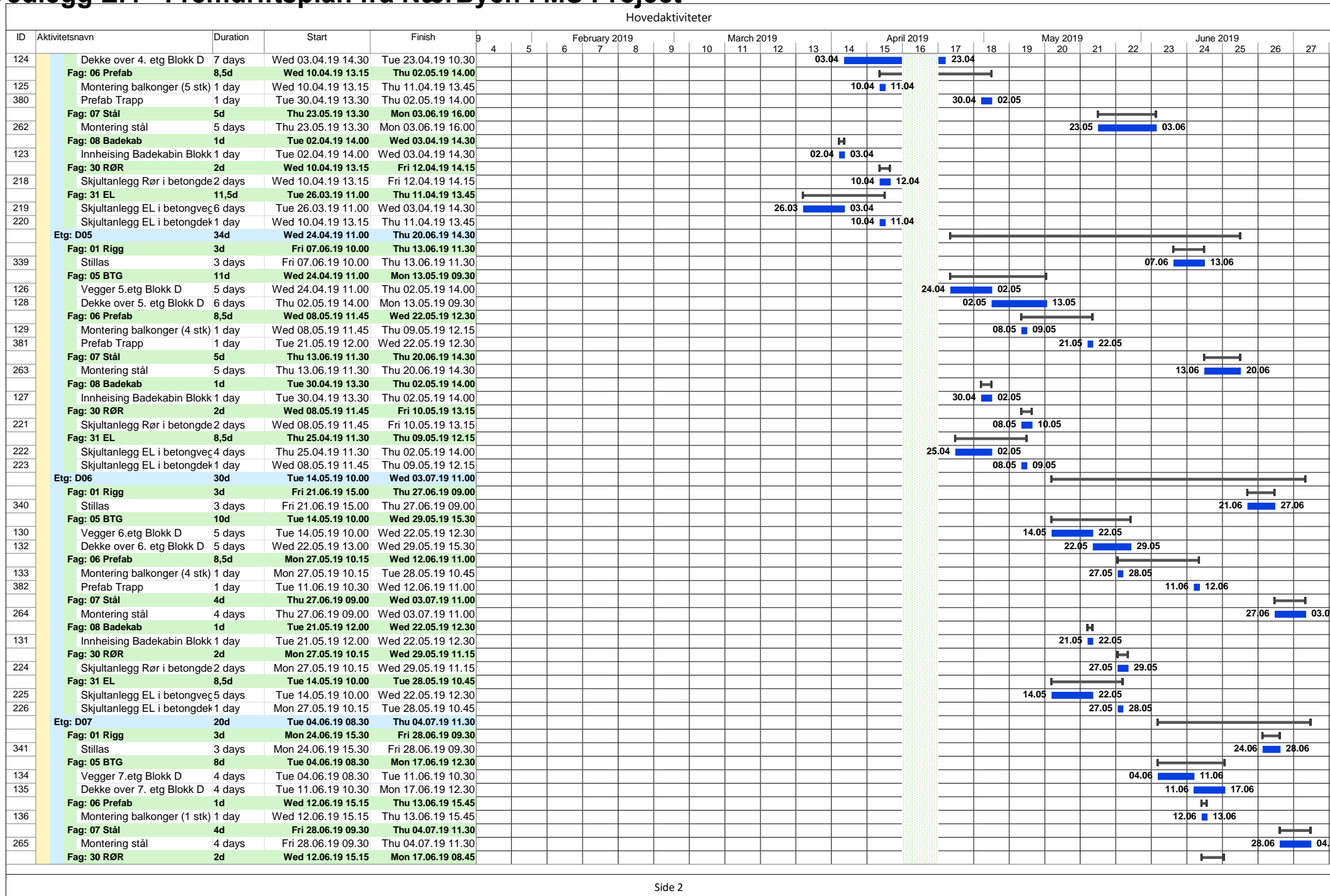
Armering -- Dekke over 7. etg [G]	06/19/2019	06/20/2019
Skjultanlegg ei -- Dekke over 7. etg [G]	06/19/2019	06/20/2019
Plasstøp -- Dekke over 7. etg [G]	06/20/2019	06/21/2019
Avtrekking/brettskuring -- Dekke over 7. etg [G]	06/20/2019	06/21/2019
Herding -- Dekke over 7. etg [G]	06/21/2019	06/21/2019
Riving -- Dekke over 7. etg [G]	06/24/2019	06/24/2019
Element: Balkong 7. etg [G]	06/20/2019	06/20/2019
Montering -- Balkong 7. etg [G]	06/20/2019	06/20/2019
Element: Topp heissjakt [G]	06/24/2019	06/24/2019
Forskaling av dekkeflate -- Topp heissjakt [G]	06/24/2019	06/24/2019
Forskaling av forkant -- Topp heissjakt [G]	06/24/2019	06/24/2019
Armering -- Topp heissjakt [G]	06/24/2019	06/24/2019
Plasstøp -- Topp heissjakt [G]	06/24/2019	06/24/2019
Avtrekking/brettskuring -- Topp heissjakt [G]	06/24/2019	06/24/2019
Herding -- Topp heissjakt [G]	06/24/2019	06/24/2019
Riving -- Topp heissjakt [G]	06/25/2019	06/25/2019

Armering -- Dekke over 7. etg [G]
Skjultanlegg ei -- Dekke over 7. etg [G]
Plasstøp -- Dekke over 7. etg [G]
Avtrekking/brettskuring -- Dekke over 7. etg [G]
Herding -- Dekke over 7. etg [G]
Riving -- Dekke over 7. etg [G]
Element: Balkong 7. etg [G]
Montering -- Balkong 7. etg [G]
Element: Topp heissjakt [G]
Forskaling av dekkeflate -- Topp heissjakt [G]
Forskaling av forkant -- Topp heissjakt [G]
Armering -- Topp heissjakt [G]
Plasstøp -- Topp heissjakt [G]
Avtrekking/brettskuring -- Topp heissjakt [G]
Herding -- Topp heissjakt [G]
Riving -- Topp heissjakt [G]

Vedlegg E.4 - Fremdriftsplan fra NærByen i MS Project



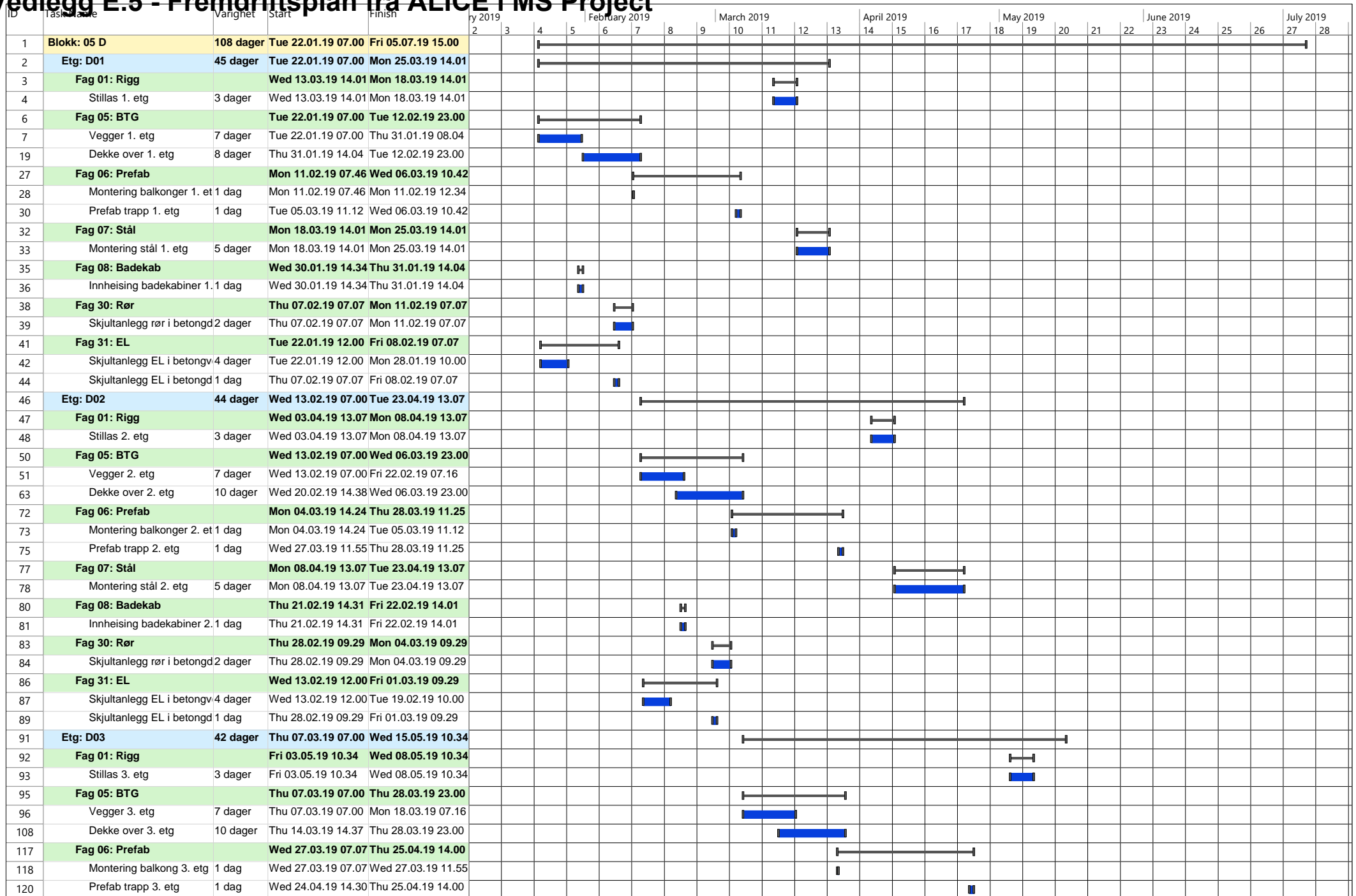
Vedlegg E.4 - Fremdriftsplan fra NærByen i MS Project



Vedlegg E.4 - Fremdriftsplan fra NærByen i MS Project

Hovedaktiviteter			February 2019							March 2019			April 2019			May 2019			June 2019											
ID	Aktivetsnavn	Duration	Start	Finish	9	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
227	Skjultanlegg Rør i betongde	2 days	Wed 12.06.19 15.15	Mon 17.06.19 08.45																										
	Fag: 31 EL	6,5d	Tue 04.06.19 08.30	Thu 13.06.19 15.45																										
228	Skjultanlegg EL i betongveç	4 days	Tue 04.06.19 08.30	Tue 11.06.19 10.30																										
229	Skjultanlegg EL i betongdek	1 day	Wed 12.06.19 15.15	Thu 13.06.19 15.45																										
	Etg: D08	3d	Mon 17.06.19 13.00	Thu 20.06.19 14.30																										
	Fag: 05 BTG	3d	Mon 17.06.19 13.00	Thu 20.06.19 14.30																										
310	Topp heissjakt	3 days	Mon 17.06.19 13.00	Thu 20.06.19 14.30																										

Vedlegg E.5 - Fremdriftsplan fra ALICE i MS Project



Vedlegg E.5 - Fremdriftsplan fra ALICE i MS Project

ID	Task Name	Varighet	Start	Finish	2019																													
					January		February		March		April		May		June		July																	
					2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
122	Fag 07: Stål		Wed 08.05.19 10.34	Wed 15.05.19 10.34																														
123	Montering stål 3. etg	5 dager	Wed 08.05.19 10.34	Wed 15.05.19 10.34																														
125	Fag 08: Badekab		Fri 15.03.19 14.31	Mon 18.03.19 14.01																														
126	Innheising badekabiner 3.	1 dag	Fri 15.03.19 14.31	Mon 18.03.19 14.01																														
128	Fag 30: Rør		Fri 22.03.19 14.09	Tue 26.03.19 14.09																														
129	Skjultanlegg rør i betongd	2 dager	Fri 22.03.19 14.09	Tue 26.03.19 14.09																														
131	Fag 31: EL		Thu 07.03.19 12.00	Mon 25.03.19 14.09																														
132	Skjultanlegg EL i betongv	4 dager	Thu 07.03.19 12.00	Wed 13.03.19 10.00																														
134	Skjultanlegg EL i betongd	1 dag	Fri 22.03.19 14.09	Mon 25.03.19 14.09																														
136	Etg: D04	40 dager	Fri 29.03.19 07.00	Thu 06.06.19 11.01																														
137	Fag 01: Rigg		Thu 23.05.19 11.01	Tue 28.05.19 11.01																														
138	Stillas 4. etg	3 dager	Thu 23.05.19 11.01	Tue 28.05.19 11.01																														
140	Fag 05: BTG		Fri 29.03.19 07.00	Fri 26.04.19 23.00																														
141	Vegger 4. etg	6 dager	Fri 29.03.19 07.00	Fri 05.04.19 13.37																														
148	Dekke over 4. etg	10 dager	Thu 04.04.19 13.34	Fri 26.04.19 23.00																														
157	Fag 06: Prefab		Tue 23.04.19 14.30	Thu 16.05.19 08.33																														
158	Montering balkong 4. etg	1 dag	Tue 23.04.19 14.30	Wed 24.04.19 14.30																														
160	Prefab trapp 4. etg	1 dag	Wed 15.05.19 09.03	Thu 16.05.19 08.33																														
162	Fag 07: Stål		Tue 28.05.19 11.01	Thu 06.06.19 11.01																														
163	Montering stål 4. etg	5 dager	Tue 28.05.19 11.01	Thu 06.06.19 11.01																														
165	Fag 08: Badekab		Fri 05.04.19 13.37	Mon 08.04.19 13.07																														
166	Innheising badekabiner 4.	1 dag	Fri 05.04.19 13.37	Mon 08.04.19 13.07																														
168	Fag 30: Rør		Fri 12.04.19 08.51	Wed 24.04.19 08.51																														
169	Skjultanlegg rør i betongd	2 dager	Fri 12.04.19 08.51	Wed 24.04.19 08.51																														
171	Fag 31: EL		Fri 29.03.19 12.00	Tue 23.04.19 08.51																														
172	Skjultanlegg EL i betongv	4 dager	Fri 29.03.19 12.00	Thu 04.04.19 10.00																														
174	Skjultanlegg EL i betongd	1 dag	Fri 12.04.19 08.51	Tue 23.04.19 08.51																														
176	Etg: D05	36 dager	Mon 29.04.19 07.00	Mon 24.06.19 11.07																														
177	Fag 01: Rigg		Wed 12.06.19 11.07	Mon 17.06.19 11.07																														
178	Stillas 5. etg	3 dager	Wed 12.06.19 11.07	Mon 17.06.19 11.07																														
180	Fag 05: BTG		Mon 29.04.19 07.00	Thu 16.05.19 23.00																														
181	Vegger 5. etg	6 dager	Mon 29.04.19 07.00	Tue 07.05.19 12.34																														
188	Dekke over 5. etg	9 dager	Mon 06.05.19 11.01	Thu 16.05.19 23.00																														
197	Fag 06: Prefab		Tue 14.05.19 10.39	Fri 07.06.19 13.09																														
198	Montering balkong 5. etg	1 dag	Tue 14.05.19 10.39	Wed 15.05.19 09.03																														
200	Prefab trapp 5. etg	1 dag	Thu 06.06.19 13.39	Fri 07.06.19 13.09																														
202	Fag 07: Stål		Mon 17.06.19 11.07	Mon 24.06.19 11.07																														
203	Montering stål 5. etg	5 dager	Mon 17.06.19 11.07	Mon 24.06.19 11.07																														
205	Fag 08: Badekab		Tue 07.05.19 12.34	Wed 08.05.19 10.34																														
206	Innheising badekabiner 5.	1 dag	Tue 07.05.19 12.34	Wed 08.05.19 10.34																														
208	Fag 30: Rør		Mon 13.05.19 08.24	Wed 15.05.19 08.24																														
209	Skjultanlegg rør i betongd	2 dager	Mon 13.05.19 08.24	Wed 15.05.19 08.24																														
211	Fag 31: EL		Mon 29.04.19 12.00	Tue 14.05.19 08.24																														
212	Skjultanlegg EL i betongv	4 dager	Mon 29.04.19 12.00	Mon 06.05.19 10.00																														
214	Skjultanlegg EL i betongd	1 dag	Mon 13.05.19 08.24	Tue 14.05.19 08.24																														
216	Etg: D06	28 dager	Mon 20.05.19 07.00	Tue 02.07.19 07.12																														

Vedlegg E.5 - Fremdriftsplan fra ALICE i MS Project

ID	Task Name	Varighet	Start	Finish	2019																											
					Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul																					
					2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
217	Fag 01: Rigg		Thu 20.06.19 07.12	Tue 25.06.19 07.12																												
218	Stillas 6. etg	3 dager	Thu 20.06.19 07.12	Tue 25.06.19 07.12																												
220	Fag 05: BTG		Mon 20.05.19 07.00	Fri 07.06.19 23.00																												
221	Vegger 6. etg	6 dager	Mon 20.05.19 07.00	Mon 27.05.19 13.01																												
228	Dekke over 6. etg	8 dager	Mon 27.05.19 07.03	Fri 07.06.19 23.00																												
237	Fag 06: Prefab		Thu 06.06.19 07.15	Fri 21.06.19 10.35																												
238	Montering balkonger 6. et	1 dag	Thu 06.06.19 07.15	Thu 06.06.19 13.39																												
240	Prefab trapp 6. etg	1 dag	Thu 20.06.19 11.05	Fri 21.06.19 10.35																												
242	Fag 07: Stål		Tue 25.06.19 07.12	Tue 02.07.19 07.12																												
243	Montering stål 6. etg	5 dager	Tue 25.06.19 07.12	Tue 02.07.19 07.12																												
245	Fag 08: Badekab		Mon 27.05.19 13.01	Tue 28.05.19 11.01																												
246	Innheising badekabiner 6.	1 dag	Mon 27.05.19 13.01	Tue 28.05.19 11.01																												
248	Fag 30: Rør		Tue 04.06.19 11.49	Thu 06.06.19 11.49																												
249	Skjultanlegg rør i betong	2 dager	Tue 04.06.19 11.49	Thu 06.06.19 11.49																												
251	Fag 31: EL		Mon 20.05.19 12.00	Wed 05.06.19 11.49																												
252	Skjultanlegg EL i betong	4 dager	Mon 20.05.19 12.00	Fri 24.05.19 10.00																												
254	Skjultanlegg EL i betong	1 dag	Tue 04.06.19 11.49	Wed 05.06.19 11.49																												
256	Etg: D07	19 dager	Tue 11.06.19 07.00	Fri 05.07.19 15.00																												
257	Fag 01: Rigg		Wed 26.06.19 07.00	Mon 01.07.19 07.00																												
258	Stillas 7. etg	3 dager	Wed 26.06.19 07.00	Mon 01.07.19 07.00																												
260	Fag 05: BTG		Tue 11.06.19 07.00	Fri 21.06.19 23.00																												
261	Vegger 7. etg	5 dager	Tue 11.06.19 07.00	Mon 17.06.19 11.07																												
268	Dekke over 7. etg	6 dager	Thu 13.06.19 14.09	Fri 21.06.19 23.00																												
277	Fag 06: Prefab		Thu 20.06.19 09.29	Thu 20.06.19 11.05																												
278	Montering balkonger 7. et	1 dag	Thu 20.06.19 09.29	Thu 20.06.19 11.05																												
280	Fag 07: Stål		Mon 01.07.19 07.00	Fri 05.07.19 15.00																												
281	Montering stål 7. etg	5 dager	Mon 01.07.19 07.00	Fri 05.07.19 15.00																												
283	Fag 30: Rør		Wed 19.06.19 08.57	Fri 21.06.19 08.57																												
284	Skjultanlegg rør i betong	2 dager	Wed 19.06.19 08.57	Fri 21.06.19 08.57																												
286	Fag 31: EL		Tue 11.06.19 12.00	Thu 20.06.19 08.57																												
287	Skjultanlegg EL i betong	4 dager	Tue 11.06.19 12.00	Mon 17.06.19 10.00																												
289	Skjultanlegg EL i betong	1 dag	Wed 19.06.19 08.57	Thu 20.06.19 08.57																												
291	Etg: D08	1 dag	Mon 24.06.19 07.00	Tue 25.06.19 07.12																												
292	Fag 05: BTG		Mon 24.06.19 07.00	Tue 25.06.19 07.12																												
293	Topp heissjakt	1 dag	Mon 24.06.19 07.00	Tue 25.06.19 07.12																												

