



UNIVERSITETET I AGDER

Organisering og ledelse av byggprosjektering

Design Structure Matrix som metode for koordinering av
byggprosjektering

Olaug Ingeborg Hofgaard-Espeland
Arve Brastad Høen

Veiledere

Bo Terje Kalsaas
John Skaar

*Masteroppgaven er gjennomført som ledd i utdanningen ved
Universitetet i Agder og er godkjent som del av denne utdanningen.*

Universitetet i Agder, 2012
Fakultet for teknologi og realfag
Institutt for ingeniørvitenskap

FORORD

Denne masteroppgaven er utført som et avsluttende arbeid ved studiet industriell økonomi og teknologiledelse ved Universitetet i Agder (UiA), under fakultet for teknologi og realfag.

Veiledere har vært Bo Terje Kalsaas (UiA) ved institutt for ingeniørvitenskap og John Skaar fra Skanska. UiA og Skanska har løpende et samarbeid innen Lean Construction problemstillinger og forskning rundt dette.

Oppgaven vil søke forbedringspotensial innen byggprosjektering, med hensyn på å bidra til å oppnå en mer effektiv og forutsigbar byggeprosess. Temaet er svært relevant og aktuelt for byggebransjen generelt, som sliter med forsinkelser i byggproduksjon og byggefeil, mye pga. svikt i prosjekteringsfasen. Prosjekteringsprosessen i prosjekt Sønedeled skole, Risør, er benyttet som casestudie.

Vi vil rette en stor takk til prosjekteringsleder ved Skanska, Atle Haugenes, som har vært til stor hjelp i forhold til å legge til rette for empiriinnsamlingen. Vi vil også spesielt takke alle de prosjekterende i prosjekt Sønedeled skole, Håvard Trosterud, Toralf Taraldsen, Bård Valle, Tor Heien, Erik Friis-Jacobsen, Jens Frode Nokevje, Holger Holt, og videre produksjonsleder i Skanska, Frode Haaversen. De har alle vært veldig positive og interesserte, og tross en hektisk hverdag, har de satt av god tid til intervjuer. Til slutt rettes også en stor takk til veilederne våre, KS-leder i Skanska, John Skaar og Dr. Ing. ved UiA, Bo Terje Kalsaas, for å ha bidratt med gode innspill og konstruktive diskusjoner.

Grimstad 31.05.12

Olaug I. Hofgaard-Espeland

Arve Brastad Høen

SAMMENDRAG

Det er i byggebransjen en bred felles oppfatning om at stans i byggproduksjon til stadighet skjer. Feil eller dårlig kvalitet på tegningsgrunnlag er heller ikke noe uvanlig. Årsaken til at disse problemene inntreffer, er i stor grad knyttet til prosjekteringsunnlater, forenklet prosjektering, eller feil i prosjekteringsmaterialet. Under et intervju med en produksjonsleder i Skanska, samt etter samtaler med ulike andre aktører i selskapet, ble det bekreftet at dette også er tilfelle for Skanska, som denne oppgaven i hovedsak er skrevet for.

Oppgaven søker, blant annet av disse grunner, svar på følgende problemstilling:

Hvordan kan prosjekteringen organiseres og ledes for å oppnå økt effektivitet og forutsigbarhet i byggproduksjon?

Det tenkes i denne sammenheng på effektivitet og forutsigbarhet i den forstand at tegninger med hensiktsmessig detaljering og kvalitet er tilgjengelig for de utførende idet de skal påbegynne sine aktiviteter, og at sannsynligheten for brems i produksjon dermed reduseres.

Byggprosjektering er en iterativ¹ prosess som preges av gjensidige avhengighetsbeslutninger tatt i samråd med ulike profesjonelle aktører. Oppgaven tar derfor for seg Thompsons koordinasjonsteori/avhengighetsteori (2003), som et ledd i å få en forståelse for hvordan man håndterer ulike avhengigheter. Effektivt designsamarbeid krever planlegging av tverrfaglig informasjon. Likevel har det å drive systematisk planlegging av prosjekteringsprosessen vært mindre vanlig (Pektaş & Pultar, 2006). Tradisjonelle planleggingsverktøy som GANTT, PERT og CPM, er svakere når det gjelder å behandle de gjensidige avhengighetene. Å kunne håndtere disse avhengighetene vil være svært avgjørende for å komme nærmere mest mulig riktig informasjon til rett tid, som er en selvfølgelig forutsetning for å oppnå effektiv prosjektering. Og, til tross for at man er klar over viktigheten av å ha informasjon tilgjengelig til rett tid, er fraværet av dette et gjentakende problem i prosjekteringsprosessen (Huovila, 1997). I oppgaven er det skrevet litt om hvordan informasjonsflyt og kommunikasjon kan ha ekstremt stor innvirkning for gjennomføringen av et prosjekt, særlig for de prosjekter som er preget av mye gjensidig avhengighet, slik prosjektering er.

¹ At en prosess er iterativ vil si at den preges av iterasjoner. En iterasjon forårsaker omarbeid eller foredling av designet ettersom man må returnere til tidligere beslutninger og foreta endringer (Pektaş & Pultar, 2006).

Som en følge av at de tradisjonelle planleggingsverktøyene mangler evnen til å modellere tilbakeføringen av informasjon (feedback²) og iterasjoner i prosjekter, ble Design Structure Matrix utviklet (Yassine, 2004). Design Structure Matrix er en metode som muliggjør modellering av «feedback» og iterasjoner, ved å optimalisere rekkefølgen til aktiviteter eller designavgjørelser i henhold til deres avhengighetsstruktur. En annen fordel med metoden er at den fokuserer på informasjonsflyt, og ikke arbeidsflyt (Yassine, 2004). Alle disse momentene gjorde det interessant og aktuelt å undersøke nytten av DSM.

For å besvare problemstillingen ble derfor følgende forskerspørsmål utarbeidet:

Er Design Structure Matrix en hensiktsmessig metode for å håndtere gjensidige avhengigheter mellom fagdisipliner innen byggprosjektering, og kan metodikken bidra til å oppnå høyere grad av forutsigbarhet og styring av prosjekteringen?

DSM er, kort fortalt, en matrise som man kan bruke til å markere avhengighetene mellom elementene man har valgt å dele prosessen inn i. Verktøyet utleder forslag til forbedringer for systemet, eller prosessen som tas under lupen, ved at elementene omstruktureres til en rekkefølge som gjør systemet så lite komplekst som mulig, ut ifra de avhengighetene som er gitt. Systemet i denne oppgaven er designprosessen, dvs. prosjekteringen, og prosjekteringstegninger ble valgt som systemelementer. Årsaken til dette valget, var blant annet fordi DSM må være tilpasset de systemelementene og relasjonene som råder i systemet som er i fokus. Slik byggprosjektering og fremdriften av denne styres i dag, så har tegningsleveranseplanen en sentral plass.

Prosjekteringen av en barneskole på Søndeled i Risør ble benyttet som casestudie. Det var naturligvis i dette prosjektet at avhengighetsforholdene mellom tegninger ble kartlagt, ved å foreta intervjuer med alle de prosjekterende. Deltakelse i prosjekteringsmøtene ble en arena for opparbeidelse av mer kunnskap og erfaring med prosjektering, utover den kunnskap vi opparbeidet oss ved å lese litteratur. Uformelle samtaler og diskusjoner med de prosjekterende og prosjekteringsleder gav ytterligere forståelse og innsikt. Med andre ord er det brukt en kvalitativ tilnærming til metode i denne oppgaven.

² Feedback betyr at det foregår en tilbakeføring av informasjon til en tidligere aktivitet.

Datainnsamlingen, dvs. intervjuene med de prosjekterende, der vi foretok kartlegging av avhengighetene mellom designtegningene, ble registrert i en matrise. Matrisen visualiserer informasjonsflyten (gjensidige, parallelle og sekvensielle avhengigheter) mellom tegningene på en god og oversiktlig måte. Etter en omstrukturering av matrisens systemelementer, ble det funnet tydelige indikasjoner på at tegninger ikke er hensiktsmessig å benytte som elementer. Under et evalueringsmøte med de prosjekterende, uttrykte de den samme oppfatningen. Og dette, selv om den omstrukturerte matrisen resulterte i en rekkefølge som indikerte mindre tilbakeføring av informasjon (iterasjoner). Årsaken var først og fremst at den omstrukturerte matrisen fremla en rekkefølge for tegningsproduksjonen som de prosjekterende ikke trodde ville være mulig å gjennomføre i praksis. Videre mente de at prosessen burde inndeles på en annen måte, som en naturlig følge av at tegningsproduksjon er en prosess som inneholder mange sub-aktiviteter.

Som sagt tidligere, er informasjonsflyt og kommunikasjon kritiske faktorer for suksess med prosjektering. Det er initiert at DSM, i tillegg til å sekvensere prosesser, skal kunne bidra til å gi fagdisiplinene bedre forståelse og oversikt over systemet, i dette tilfellet prosjekteringen, og dermed forbedre informasjons- og kommunikasjonsflyt. Undersøkelser rundt hvor mye aktørene kommuniserer og samhandler i prosjekt Søndeled gav indikasjoner på at enkelte aktører ønsket seg mer samhandling med enkelte av de andre aktørene. Videre viste undersøkelsen at det ikke forekom særlig mye kommunikasjon mellom aktørene, utenom prosjekteringsmøtene. Mangel på tid ble pekt på som mye av årsaken. Selv om ikke matrisen som ble laget egnert seg til å finne en optimal rekkefølge for tegningsproduksjonen, vil den kunne benyttes til å bevisstgjøre fagdisiplinene om hvem som benytter seg av informasjonen de produserer, og videre visualisere avhengighetene mellom aktørene. Det viste seg nemlig at de prosjekterende ikke har god nok oversikt over hvem de produserer informasjon for. Matrisen vil kunne være et godt styringsverktøy for prosjekteringsleder, ved at det tydelig fremkommer hvem som er avhengig av hva, og hvem som må snakke med hvem. Forsinkelser og feil i tegningsgrunnlag begrunnes ofte med at aktørene ikke har informasjonen de trenger for å ferdigstille sitt bidrag innen leveringsfristen, eller så har de ikke oversikt over hvor de kan hente manglende informasjon. Mye av ansvaret for forsinkelser legges også over på ledere som mangler oversikt over hvem som mangler informasjon.

DSM vil trolig ikke kunne løse alle utfordringene og problemene i byggprosjektering. Alene er verktøyet ikke tilstrekkelig for å koordinere prosjekteringen, men kan være et viktig bidrag på lik linje med og andre initiativ som går på forbedringsarbeid innen byggprosjektering (Eksempelvis Last Planner System (LPS) og Building Information Modeling (BIM)).

Vi er kommet frem til at nøkkelen til å oppnå en mer hensiktsmessig DSM, er i stor grad forankret i selve nedbrytningen av designarbeidet. Aktiviteter må brytes ned til et passende detaljnivå. Det anbefales derfor at DSM utforskes videre med hensyn på dette. Flere forslag til hvordan en nedbryting kan utføres ble vurdert:

- Dekomponere tegningene i flere faser
- Dekomponere prosjekteringsfasen i aktiviteter/beslutningspunkter, slik at fasen blir mer lik slik den faktisk skrider frem

I evalueringsmøtet med prosjekteringsgruppen ble det vurdert som mest interessant å gå videre med en aktivitetsbasert DSM. Det er likevel vanskelig å vite sikkert hva som vil være den mest hensiktsmessige inndelingen, og det foreslås derfor at man prøver ut flere alternative nedbrytninger. Å anvende DSM i byggprosjektering kan forandre tenkemåten i prosjekteringen fra å være fokusert på tegninger til å bli mer fokusert på informasjonsflyt, dersom man lager en inndeling ut ifra hvordan prosessen faktisk skrider frem. Man vil dermed kunne få en bedre forståelse av prosjekteringsprosessen.

DSM-analyse krever tett samarbeid med de prosjekterende, siden disse er de som har mest erfaring med prosjektering, og er de som utfører arbeidet, og naturligvis av den grunn best kan svare for hvilke avhengigheter som foreligger. Det å stable en DSM på beina er en tidkrevende prosess, og uttesting av én matrise la derfor beslag på all den tiden vi har hatt til disposisjon under oppgaveskrivingen. Det opplevdes til tider som vanskelig å få nok tid sammen med de prosjekterende, og dette kan oppleves som delvis kritisk i forhold til validiteten til noen av undersøkelsene. Likevel var aktørene svært positive, og satte av en del tid. Likesom det gjennom denne oppgaveskrivingen, vil det også komme til å kreve en god del tid fra de prosjekterende dersom DSM som verktøy skal benyttes i praksis. Gevinsten av en DSM analyse bør derfor også vurderes nøye, det vil si at man bør undersøke hvor mye nytte man får i forhold til hva det vil koste å gjennomføre analysen. Mest sannsynlig bør det, for hvert nytt prosjekt som starter opp, utføres en ny DSM analyse, som en følge av at hvert prosjekt er unikt. Dette er dog ikke sikkert, siden det også er mye i den underliggende

strukturen som er likt. I denne oppgaven er det ikke blitt gjort noen vurdering på hvorvidt kostnaden vil være lavere enn nytten ved å gjennomføre DSM, ei heller om det må lages nye analyser for alle prosjekter. Det er ikke mulig å gjøre noen konklusjon på dette, særlig siden vi kun så vidt har testet matrisen på ett prosjekt. Likevel er dette aspekter som bør gjøres ytterligere undersøkelser rundt.

Avhengig eller uavhengig av våre resultater, mener vi det finnes et potensiale i DSM med tanke på å (ut ifra erfaringer som er gjort, og DSM-teori som er lest):

- Sekvensere arbeidsoppgavene i en så optimal rekkefølge som mulig, slik at mest mulig informasjon foreligger til rett tid, og dermed unngå unødvendige iterasjoner/omprosjektering.
- Identifisere «blokker³» langs tidslinjen (diagonalen). Dette kan være et nyttig verktøy for prosjekteringsleder i forhold til å se hvilke aktiviteter som er gjensidig avhengig og som må løses gjennom gjensidig tilpasning. Prosjekteringsledere kan dermed planlegge proaktivt.
- Skape større bevissthet om avhengigheter mellom fag, og da særlig gjensidig avhengige. Kan være med å bidra til at de prosjekterende ikke blir «sittende på gjerdet» i påvente av informasjon.
- Identifisere hvilke aktiviteter som påvirkes når en eventuell endring skjer i designet.
- Gi de prosjekterende oversikt over informasjonsflyten, dvs. en aktør kan bli gjort bevisst på hvilke tegninger andre aktører benytter og er avhengig av for å produsere sine tegninger.

Som en sideobservasjon (funn) i dette prosjektet, har vi sett at tegninger kan være mindre ideelt å styre etter. Dagens styringsform er basert på tegningsleveranseplaner. I forbindelse med vårt funn av at tegninger ikke er hensiktsmessige som systemelementer i DSM, ble både undertegnede og våre veiledere oppmerksomme på at tegninger som styringsform, muligens ikke er ideelt med tanke på fremdriftsstyring av prosjekteringen. Da Design Structure Matrix krever en nedbrytning av prosjekteringsprosessen og en mer sekvensiell logikk, slo det oss at å tenke tegninger, og ikke konkrete aktiviteter, kan være en årsak til at byggprosjektering preges av ineffektivitet. Større fokus og planlegging rundt informasjonsflyt, kan gjøre prosjekteringsarbeidet mer transparent og mer konkret, enn slik prosessen er i dag.

³ «Blokker» illustrerer klynger av aktiviteter som er gjensidig avhengige og som krever tettere samarbeid mellom aktørene for å komme frem til en tilfredsstillende løsning.

I henhold til de undersøkelser som er gjort i denne oppgaven, er det for tidlig å konkludere i forhold til om DSM en hensiktsmessig metode for å oppnå høyere grad av forutsigbarhet og styring av byggprosjektering, men det er likevel mange elementer som tyder sterkt på at metoden kan være det. For å konkludere rundt dette, er det selvsagt nødvendig å foreta flere undersøkelser.

INNHOLD

| | |
|---|------------|
| FORORD | II |
| SAMMENDRAG | III |
| 1 INNLEDNING | 1 |
| 1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN | 1 |
| 1.2 OPPGAVENS TEMA OG PROBLEMSTILLING | 4 |
| 2 METODEBESKRIVELSE | 6 |
| 2.1 TEORIGRUNNLAG | 6 |
| 2.2 VALG AV UNDERSØKELSESMETODER | 7 |
| 2.3 PÅLITELIGHET | 11 |
| 2.4 GYLDIGHET | 13 |
| 3 PROSJEKTERING OG PROSJEKTERINGSLEDELSE | 15 |
| 3.1 PROSJEKTERING | 15 |
| 3.2 PROSJEKTERINGSLEDELSE | 16 |
| 3.3 PROSJEKTERINGSORGANISASJONEN | 18 |
| 3.4 PROSJEKTERINGSFASEN | 21 |
| 3.5 PROSESSEN MED Å UTARBEIDE TEGNINGER | 23 |
| 3.6 DEN ITERATIVE PROSJEKTERINGSPROSESSEN | 23 |
| 3.7 ÅRSAKER TIL PROSJEKTERINGSFEIL | 25 |
| 4 KOMMUNIKASJON OG INFORMASJON | 27 |
| 4.1 FORSKJELLEN PÅ KOMMUNIKASJON OG INFORMASJON | 27 |
| 4.2 INFORMASJONSTEORI | 27 |
| 4.3 KOMMUNIKASJONSTEORI | 29 |
| 4.4 KOMMUNIKASJON, SAMARBEID OG MÅLSTYRING I PROSJEKTET | 31 |
| 5 KOORDINASJONSTEORI | 32 |
| 6 PROSJEKTPLANLEGGING | 36 |
| 6.1 GENERELLE KRAV | 36 |
| 6.2 SÅRBARHETEN TIL PLANER | 37 |
| 6.3 PLANLEGGINGSVERKTØY (STYRKER OG SVAKHETER) | 37 |
| 7 DESIGN STRUCTURE MATRIX | 43 |
| 7.1 GENERELT OM DESIGN STRUCTURE MATRIX | 43 |
| 7.2 DESIGN STRUCTURE MATRIX I BYGGEBRANSJEN | 43 |
| 7.3 ULIKE TYPER DSM | 45 |
| 7.4 INNØRING I DSM | 47 |
| 7.5 ANALYSE AV DSM | 51 |
| 7.6 ETABLERING AV EN DESIGN STRUCTURE MATRIX | 55 |
| 8 BAKGRUNN FOR, OG PRESENTASJON AV FORSKERSPØRSMÅL | 59 |
| 8.2 FORSKERSPØRSMÅL | 62 |
| 8.3 KARTLEGGING AV AVHENGIGHETER MELLOM TEGNINGER VED Å ANVENDE DSM | 63 |
| 9 CASESTUDIE FOR OPPGAVEN | 64 |
| 9.1 FAKTA OM PROSJEKTET | 64 |
| 9.2 PROSJEKTERINGSGRUPPEN | 65 |
| 9.3 DE PROSJEKTERENDE SIN RELASJON TIL SKANSKA | 66 |
| 9.4 TEGNINGSLEVERANSEPLAN - DAGENS TEGNINGSLEVERANSESTYRING I SKANSKA | 66 |
| 9.5 BAKOVERPLANLEGGING I PROSJEKTERINGSFASEN | 68 |
| 10 BEHOVET FOR EN FORBEDRET PROSJEKTERINGSPROSESS | 70 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 11 | BYGGING AV DSM-MODELLEN | 75 |
| 11.1 | VALG AV TYPE DSM OG SYSTEMELEMENTER..... | 75 |
| 11.2 | VALG OG FORUTSETNINGER I FORHOLD TIL SYSTEMELEMENTER..... | 76 |
| 11.3 | KARTLEGGING AV AVHENGIGHETER | 78 |
| 12 | EMPIRISK ANALYSE OG DRØFTING | 83 |
| 12.1 | DSM-ANALYSE OG RESULTATER..... | 83 |
| 12.2 | FORSLAG TIL EN MER EGNET DSM..... | 97 |
| 12.3 | KOMMUNIKASJON OG INFORMASJONSFLYT I PROSJEKTET..... | 104 |
| 12.4 | EVALUERING AV DSM..... | 112 |
| 12.5 | EVALUERING AV TRADISJONELL FREMDRIFTSSTYRING I BYGGPROSJEKTERING | 118 |
| 13 | KONKLUSJON | 122 |
| 14 | BIBLIOGRAFI..... | 127 |
| 15 | FIGURLISTE..... | 131 |
| 16 | TABELLISTE..... | 132 |
| 17 | VEDLEGG..... | 133 |

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Stopp i produksjon. Et fenomen det er bred felles oppfatning blant fagfolk om at til stadighet skjer i byggebransjen. Ofte er årsaken at tegninger og annet underlag som trengs for å produsere ikke foreligger tidsnok. Dette fører til forsinkelser i fremdrift, som igjen kan gi store negative økonomiske konsekvenser.

Et annet vanlig fenomen er feil og dårlig kvalitet på tegningsgrunnlag, noe som kan generere byggeskader/feil og som krever ekstra tid til problemløsning på byggeplassen. Koskela, Ballard, & Tanhuanpää (1997, s. 2) refererer til en studie der årsaker til feil og mangler i byggebransjen ble kartlagt: Josephson (1996) har funnet at *“when measured in costs, design-caused defects are the biggest category. From design cause defects, those originating from lack of coordination between disciplines are the largest category.”*

Ifølge SINTEF kan 40 % av alle byggeskader knyttes til prosjektering (SINTEF Nasjonal database for Byggkvalitet, 2003). Av disse, utgjør prosjekteringsunntatelser eller forenklet prosjektering 20 % av årsaken til byggeskader, mens de resterende 20 % betegnes som feil i prosjekteringsmaterialet. Dokumenter som utarbeides i prosjekteringsfasen legger viktige føringer for de utførende og det videre arbeidet i prosjektet, som igjen har stor innvirkning på det endelige resultatet. Årsaken til at progresjonen i produksjonen på byggeplass bremses, er med andre ord i stor grad forankret i prosjekteringsprosessen.

Prosjektering av byggverk er imidlertid en komplisert prosess. Pektaş og Pultar (2006) karakteriserer bygningsprosjektering som en iterativ prosess som preges av gjensidige avhengighetsbeslutninger tatt i samråd med ulike profesjonelle aktører. Ifølge Browning (2001), har mange funnet hjelp i å tenke på produktutvikling eller designprosesser fra et informasjonsprosess-perspektiv, der aktiviteter tilegner seg og foredler informasjon for å produsere ny og reviderte designprodukt. Videre påpeker forfatteren at produktdesign er karakterisert som en prosess bestående av gjensidig avhengige aktiviteter. For å løse slike problemer er det nødvendig med et tett samarbeid og ofte flere gjennomganger av designet (iterasjoner) for å komme fram til en akseptabel designløsning.

Veiseth, Røstad, Andersen, Torp, & Austeng (2004) skriver i sin rapport at byggebransjen står ovenfor utfordringer knyttet til kort produksjonstid, krav om lave kostnader, krav om høy kvalitet og økende kompleksitet. I bygge- og anleggsbransjen dominerer en anbudslogikk som skaper en naturlig diskontinuitet i prosjektene der «verdikjeder» komponeres fra gang til gang. Relasjonene mellom aktørene i prosjekter kan være unike fra prosjekt til prosjekt.

Samtidig preges prosjektene av mange aktører og aktiviteter som er involvert samtidig. Aktørene er fagfolk med nokså forskjellige disipliner og arbeidsmetoder, og flere av dem har ofte mange prosjekter pågående parallelt. Alle har de ulike krav, regler og forskrifter de forholder seg til i arbeidet de utfører. Avhengighetene mellom de i ulike fagene er likevel stor. Alle disse tingene er med og krever særlige behov for koordinering og planlegging i prosjekteringsfasen.

Pektaş og Pultar (2006) presiserer at effektivt designsamarbeid krever planlegging av tverrfaglig informasjon. Likevel har det å drive systematisk planlegging av prosjekteringsprosessen vært mindre vanlig. Det kan dermed synes å være et behov for forbedringer i prosjekteringsfasen. Det er gjort relativt lite forskning på prosjekteringsledelse og prosjekteringsprosessen sammenlignet med prosjektledelse. Det gjelder spesielt her til lands. For å sitere Arge, Moe & Westgaard (2010): *«Prosjekteringsledelse har ikke vært et akademisk fagfelt i Norge, i motsetning til prosjektledelse»*. Det har imidlertid vært et økt fokus på forbedringsarbeid i prosjekteringsprosessen de senere årene, blant annet innenfor Lean Construction.

Lean Construction (LC) er en relativt ny prosessfilosofi som oppsto på 1990-tallet, som går ut på å kvitte seg med «sløsing» innen byggproduksjon. LC tankegangen er etter hvert blitt mer og mer anerkjent i byggebransjen. Ifølge Lean Construction Institute (2012) refererer LC til byggebransjens anvendelse og tilpasning av de underliggende konsepter og prinsipper fra Toyota Production System (TPS). Ordet ”lean” kan på norsk oversettes til ”slank”, men har også fått flere andre oversettelser som eksempelvis ”trimmet”. Som i TPS, er fokuset i LC på økt verdi for kunden, reduksjon av sløsing og kontinuerlig forbedring gjennom spesifikke teknikker/verktøy. Sløsing i denne forstand er ment som ressurser brukt på aktiviteter som ikke er verdiskapende («slanking»). Lean Construction miljøet har etter hvert blitt mer oppmerksomme på at for å oppnå en «slank» produksjon, så ligger mye av jobben i å forbedre

hele verdikjeden som sådan, og dermed også prosjekteringsfasen. Lean Design er den delen av Lean Construction hvor lean prinsippene anvendes i prosjekteringen og introduserer en annerledes tilnærming til designprosessen ved å introdusere tverrfaglig samarbeid helt fra begynnelsen av prosjekteringsprosessen, og hvor samarbeid, kommunikasjon og tillit mellom aktørene står sentralt (Lean Construction Institute, 2012). Et sentralt verktøy innenfor Lean Construction er The Last Planner System (LPS) som er en planleggingsmetodikk for å oppnå produksjonskontroll i bygge- og designfasen, der nøkkelmomentene er forutsigbarhet og involvering (Lean Construction Institute, 2012).

Med BIM er måten å prosjektere på i følge Sachs, Koskela, Bhargava, og Owen (2010) i ferd med å endre seg, da en digital 3D-modell står sentralt. BIM står for Building Information Model, som på norsk kan oversettes til Bygnings Informasjons Modell og Bygnings Informasjons Modellering. Med andre ord er BIM ikke bare et immaterielt produkt, men også en prosess som integrerer aktører for å komme frem til det immaterielle produktet. Ifølge Statsbygg (2012) er BIM en måte å digitalisere informasjon på og ivaretar samhandlingen i byggeprosessen på nye måter. BIM er laget for å kunne forbedre koordineringen mellom alle de involverte fagdisiplinene, ved at alle involverte kan hente ut all informasjonen de trenger, forutsatt at det er lagt inn i systemet. BIM kan bidra til å koordinere, gi oversikt, sikre samhandling og fleksibilitet på tvers av fagdisiplinene, og videre forenkle arbeidsprosessene mellom de ulike aktørene. BIM og Lean Construction får mer og mer innflytelse i dagens byggebransje. Det er forventet at både BIM og lean skal effektivisere byggebransjen (Sachs, Koskela, Bhargava, & Owen, 2010). Likevel vil det fortsatt være behov for en metode som har fokus på koordinering av gjensidige avhengigheter gjennom gjensidig tilpasning, og som tar høyde for det faktum at man fortsatt har å gjøre med mennesker som har begrenset rasjonalitet. BIM har mange elementer fra lean filosofien og disse ses ofte i sammenheng, selv om Lean Construction og BIM er to separate initiativ (Sachs, Koskela, Bhargava, & Owen, 2010).

Flere forfattere, blant annet Choo, Hammond, Tommelein, Ballard, & Austin (2003, s. 1) fremhever den selvfølgelige forutsetningen av mest mulig riktig informasjon til rett tid for å oppnå effektiv prosjektering:

“The success of design projects depends on the quality information. Having the right information at the right time is crucial.”

Til tross for at man er klar over viktigheten av å ha informasjon tilgjengelig til rett tid, er fraværet av dette et gjentakende problem i prosjekteringsprosessen. Huovila (1997) siteres i (Hammond, Choo, Austin, Tommelein, & Ballard, 2000, s. 1):

«All too often designers do not have the right information at the right time; therefore design tasks are undertaken with a risk of failure, and this leads to waste in the process due to unplanned rework»

Det er høy grad av kommunikasjon og informasjonsutveksling i prosjektene, likevel er det et generelt problem at en aktør ikke kommer videre med sitt arbeid fordi han eller hun venter på nødvendig informasjon fra andre aktører⁴. Da forekommer forsinkelser, og ansvaret blir i mange tilfeller lagt over på andre. Det er prosjekteringsleder som har ansvaret for å koordinere prosjekteringsgruppen og lede dem mot det endelige resultatet. I følge Meland (2000) er prosjektlederfunksjonen er blitt kritisert på flere områder, blant annet fra utførende med hensyn til upresise og forsinkede tegningsleveranser, dårlig samordnet tegningsmateriale fra de ulike fag, mangelfull målsetting av tegninger m.m.

Det er flere indikasjoner på at det er behov for bedre hjelpemidler eller verktøy til å håndtere og forbedre kommunikasjon og informasjonsflyt i prosjekteringsgruppen. Ønsket med denne oppgaven er å komme med et bidrag for (om mulig) å finne metoder for å oppnå høyere grad av kontroll og styring med prosjekteringsfasen og dens mange iterasjoner. Videre var det særlig da et ønske om å foreta en kartlegging av de avhengigheter som foreligger mellom tegninger.

1.2 Oppgavens tema og problemstilling

På denne bakgrunn er følgende problemstillingen utarbeidet:

Hvordan kan byggprosjektering organiseres og ledes for å oppnå økt effektivitet og forutsigbarhet i byggproduksjon?

⁴ Dette kom fram i flere uformelle samtaler med ulike aktører.

I denne sammenhengen tenkes det på effektivitet og forutsigbarhet i den forstand at tegninger med hensiktsmessig detaljering og kvalitet er tilgjengelig for de utførende idet de skal forberede og påbegynne sine aktiviteter, og at sannsynligheten for brems i produksjon dermed reduseres.

Masteroppgaven bygges opp med en detaljert metodebeskrivelse som tar for seg veien fram mot en mer konkret tilnærming. I første del presenteres aktuell litteratur og teori om prosjektering og prosjekteringsledelse for å sette oppgaven inn i rett kontekst, legge sentrale fagtermer til grunn og belyse kompleksiteten og problemene som faget består av. Videre presenteres mer spesifikk litteratur og teori som benyttes for å belyse problemstillingen og analysere resultatene, blant annet ble kommunikasjons- og informasjonsteori, avhengighets- og koordinasjonsteori funnet sentralt for denne oppgaven. Avslutningsvis for teoridelen foreligger teori om ulike plan- og styringsverktøy (GANTT, CPM, PERT, LPS) i byggebransjen. Deretter presenteres en alternativ metodikk som det er ønskelig å teste ut nærmere i byggprosjektering. Forskerspørsmålet for oppgaven vil etter dette presenteres.

I andre del av masteroppgaven vil caset som er brukt for å belyse problemstillingen bli nærmere omtalt og behovet for en forbedret prosjekteringsprosess vil bli belyst. Fremgangsmåten for utprøving av den alternative metodikken vil så bli nærmere forklart, for deretter at de enkelte erfaringer, funn og resultater som er gjort i forbindelse med masteroppgaven vil bli analysert og drøftet. Til slutt presenteres den endelige konklusjonen.

2 METODEBESKRIVELSE

Metode blir av Halvorsen (1993) omtalt som den håndverksmessige siden av vitenskapelig virksomhet. Halvorsen presiserer ytterligere, med å definere det som læren om de verktøy som kan benyttes for å samle inn informasjon. Bakgrunnen for ønsket om å foreta innsamling av data kan være for å undersøke årsak til konkrete hendelser, meninger bak handlinger og samhandlinger. Metode kan være et verktøy som bidrar til at vi bruker sansene våre på en mer disiplinert måte. Med utgangspunkt i problemstilling(er), ser vi etter noe spesielt, og oppmerksomheten sjerpes rundt dette. Valg av forskningsmetode vil være med å avgjøre hva vi vil se eller oppdage. Metode er i videre forstand også mer enn undersøkelsesteknikker. Prinsippet om etterprøvbarehet står sentralt i dagens samfunnsforskning. Metode er, i det store og hele, en fremgangsmåte for å komme frem til ny kunnskap (Halvorsen, 1993). Her følger en beskrivelse av metoden(e) som er valgt for denne oppgaven.

2.1 Teorigrunnlag

Å sette seg inn i teori knyttet til prosjektering og prosjekteringsledelse var det første som ble gjort i arbeidet med masteroppgaven. Problemstillingen, som allerede er presentert i innledningen, ble utformet ganske tidlig, i samarbeid med veilederen ved universitetet. Hele tiden har denne vært bakgrunn og kjernen for oppgaven. Mange tilnærminger kan benyttes i et forsøk på å komme til en konklusjon på denne problemstillingen. Derfor var det vesentlig å kunne mer om prosjektering og prosjekteringsledelse, videre forsøke å finne ut mer om hva som tidligere har vært erfart som svakheter og styrker i prosjekteringsprosesser. I tillegg til å bruke litteratur, ble deltakelse ved prosjekteringsmøter en arena for opparbeidelse av mer kunnskap og erfaring med prosjektering. Å delta ved møtene var med andre ord lærerikt og nyttig. Uformelle samtaler og diskusjoner med de prosjekterende og prosjekteringsleder gav ytterligere forståelse og innsikt.

Samtidig som vi opparbeidet oss kunnskap om prosjektering, ble det gjort søk etter metoder/verktøy som ville være formålstjenlige å bruke til å strukturere arbeidet med å finne avhengigheter mellom tegninger, og som i tillegg kanskje kunne være nyttig til å fremstille resultatene. Design Structure Matrix (DSM), som denne oppgaven etter hvert tar nøyere for seg, ble av veileder ved universitetet foreslått å studere nærmere.

Som følge av ønsket om å kartlegge avhengigheter mellom tegninger, ble koordinasjons- og avhengighetsteori også relevant å bringe på banen. I tillegg var teorien aktuell i forhold til at prosjekteringsprosessen, blant annet av Eppinger og Smith (1997), er beskrevet som en komplisert og iterativ prosess, med høy grad av informasjonsutveksling. Thompsons koordinasjonsteori gjør rede for koordineringmodus og kommunikasjonsbehov som kreves ved ulike avhengigheter.

Informasjonsutveksling som en sentral del av prosjekteringsprosessen gjorde også teori rundt kommunikasjon og informasjon interessant, og etter videre arbeid med drøfting og analyse viste denne teorien seg som ytterligere relevant og betydningsfull.

2.2 Valg av undersøkelsesmetoder

2.2.1 Casestudie

Det finnes mange ulike forskningsmetoder. Hver av de ulike forskningsmetodene representerer en egen måte å samle og analysere empirisk materiale. Casestudie er en av de forskningsmetodene man kan velge å benytte. Yin (2003), som har skrevet en bok om denne metoden, forfatter at generelt er casestudie en foretrukket strategi dersom forskerspørsmålene innledes med «hvordan» eller «hvorfor». Yin fremlegger at i korte trekk kan man si at casestudie tillater forsker å beholde de helhetlige og meningsfulle karakteristikene til virkelige hendelser. Omfanget av casestudie definerer Yin (2003, s. 13) som følger:

“A case study is an empirical inquiry that investigates a contemporary phenomenon within its real-life context, especially when the boundaries between phenomenon and context are not clearly evident.”

Med andre ord så brukes casestudie fordi man bevisst ønsker å dekke kontekstuelle forhold, i den tro at de vil være høyest relevant for studien. Siden det ikke alltid er like lett å skille mellom fenomen og kontekst i det virkelige liv, har Yin (2003, ss. 13-14) gitt definisjonen en forlengelse:

“The case study inquiry:

- copes with the technically distinctive situation in which there will be many more variables of interest than data points, and as one result*

- *relies on multiple sources of evidence, with data needing to converge in a triangulating fashion, as an other result*
- *benefits from the prior development of theoretical propositions to guide data collection and analysis.”*

Casestudie som forskningsstrategi utgjør en altomfattende metode som dekker logikken i design, datainnsamlingsteknikker, og spesifikke tilnærminger til dataanalyse. Derfor er casestudie, ifølge Yin, hverken en taktikk for datainnsamling eller en ren designfunksjon, men en helhetlig forskningsstrategi. Yin holder frem ved å antyde at det finnes minst 5 måter å definere og praktisere en casestudie. En av de viktigste, er å forklare de antatte årsakssammenhenger i virkelige intervensjoner, som er for komplisert for undersøkelsesstrategier eller eksperimentelle strategier. Casestudie kan være basert på en hvilken som helst miks av kvalitative og kvantitative bevis.

Det ble tidlig besluttet at det ville være hensiktsmessig å ta i bruk et case for belyse problemstillingen og for å ha et konkret prosjekt å foreta datainnsamling i. To ulike case ble vurdert som aktuelle. Det første alternativet var å gå inn i et prosjekt som var ferdig prosjekteret og under bygging. Ved å gå inn i et prosjekt som dette, kunne man målt faktisk leveringspresisjon og feil på tegninger, og videre intervjuet de prosjektende med hensyn på å finne årsaker til eventuelle forsinkelser i leveranser og feil. Denne tilnærmingen var interessant, men siden det også var et høyt ønske om at oppgaven skulle ta for seg avhengigheter mellom fagdisipliner og deres tegningsleveranser, var det en større fordel å gå inn i et prosjekt der man kunne følge prosjekteringsfasen.

Valget falt derfor på det andre alternativet. Et prosjektet der prosjekteringsprosessen var helt i oppstartsfasen. Det å få anledning til å følge prosjekteringsprosessen og dermed også kunne fortløpende registrere og observere avhengigheter mellom tegningsleveransene til de ulike fagdisiplinene, pekte seg ut som en stor fordel. Å få samlet de prosjekterende til evaluering av resultatene av undersøkelsene ble også aktuelt og var fordelaktig. Caset som er undersøkt er en totalentreprise som omfatter bygging av en barneskole på Sønedeled i Risør. Caset er ytterligere presentert i kapittel 9.

Ulike metoder kan benyttes for å studere et case. Det vil nå diskuteres hvorvidt det vil være mest hensiktsmessig å benytte kvalitativ eller kvantitativ metode som tilnærming for undersøkelsene, evt. en kombinasjon.

2.2.2 Kvantitativ metode

Dersom man velger å benytte kvantitativ metode, har man antakelig som formål å skaffe oversikt over et fenomen, oversikt over antall, kjennetegn, osv. Ulempen med metoden er at man har ganske liten fleksibilitet. Det er vanskelig å benytte metoden for å utrede årsaker til et fenomen. I tillegg bør man ha ganske god forkunnskap om emnet man undersøker for å kunne benytte metoden. Hovedformålet med metoden er å kunne generalisere, dvs. trekke konklusjoner om resultater, utviklingstrekk i en populasjon ved undersøkelse av et utvalg. Kvantitativ metode, begrenset til spørreundersøkelse, gir grunnlag for statistisk generalisering. (Isaksen, 2012)

Egenskapene til kvantitativ metode som er her sitert, anså vi til ikke å være egnende for besvarelse av gjeldende problemstilling. For det første manglet vi forkunnskap om emnet vi skulle undersøke. Videre var det viktig å kunne gå i dybden, for om mulig å finne årsakene til forsinkelser, feil og mangler ved tegninger, videre var også fleksibilitet viktig. Vi valgte derfor å bruke kvalitativ metode, hvis egenskaper var betydelig mer passende.

2.2.3 Kvalitativ metode

Isaksen (2012) fremlegger at kvalitativ metode, også kalt intensiv metode, vil si å studere en eller noen få enheter. Dette gjøres enten ved å foreta intervjuer, men kan også innebære observasjoner. Et av målene med metoden er å gå i dybden, finne årsaker til en hendelse eller et fenomen. Metoden benyttes gjerne dersom man har lite forhåndskunnskap om det man skal studere, noe som kan stemme bra for dette tilfellet. Videre har man ved å benytte kvalitativ metode, stor fleksibilitet. Svakheten med metoden er at resultatene den frembringer er vanskelig å generalisere til tilfeller som ikke er undersøkt. Isaksen (2012) sammenligner kvalitativ metode med det å legge et puslespill. Man leter etter bitene som gir god kunnskap og forståelse av et case eller en situasjon.

2.2.4 Det kvalitative forskningsintervju

Kvale og Brinkmann (2009) vil i boken «Det kvalitative forskningsintervju» påpeke styrken med utføre intervjuer. Det at det fanges opp variasjoner i intervjuobjektens oppfatninger om et tema, mener de gir et bilde av en mangfoldig menneskelig verden.

Den første undersøkelsen som ble foretatt under empiriinnsamlingen til denne oppgaven, var intervju med en produksjonsleder i Skanska. Formålet med dette første intervjuet var hovedsakelig å få bekreftelse på at det også i Skanska er utfordringer i forhold til forsinkede tegningsleveranser og feil i tegningsgrunnlag. Dette ble for øvrig også bekreftet i mer uformelle samtaler som oppsto med ulike fagpersoner vi møtte på i forbindelse med besøk på ulike byggeplasser.

I forsøk på å kartlegge avhengigheter mellom tegninger, falt det seg naturlig å intervju de som foretar prosjekteringen i prosjekt Søndeled (se case). Arkitekten, rådgivende ingeniør elektro-teknikk, rådgivende ingeniør VVS-teknikk, rådgivende ingeniør brann-teknikk, rådgivende ingeniør byggeteknikk og rådgivende ingeniør i akustikk ble derfor intervjuet. Intervjuene var delvis strukturerte, og spørsmålene i intervjuguiden var i stor grad teoretisk fundert. Det var av særlig stor betydning å være tilstede under besvarelsen av spørsmålene. Dette, for å ha mulighet til å spørre utfyllende dersom det skulle være nødvendig (noe det viste seg å være i de fleste av tilfellene), og for at det ikke skulle forekomme misforståelser. Intervjuere som vet hva de spør om, og hvorfor de spør om det, vil i intervjustadiet forsøke å klargjøre meninger som er relevante for prosjektet, fjerne tvetydighet i svarene, og dermed skape et mer pålitelig utgangspunkt for det senere analysestadiet. I tillegg kan spørsmål om presisering av svar vise at intervjueren faktisk lytter og er interessert (Kvale & Brinkmann, 2009).

Det er videre en fordel dersom man kan oppholde seg i det miljøet hvor intervjuene skal gjennomføres, slik at man får en innføring i den lokale språkbruken samt en oppfatning av de daglige rutinene og maktstrukturene (Kvale & Brinkmann, 2009). Av den grunn ble alle intervjuene utført på kontorene til aktørene (bortsett fra intervjuet med arkitekten som ble utført i et av Skanskas møterom).

Når intervjuet skal planlegges, er det ifølge Kvale og Brinkmann viktig at innholdet og målet med studien er fastlagt. Det er også viktig at man i forkant har foretatt en gjennomgang av teori på temaet, slik at man ikke leter etter informasjon som allerede er funnet. Etter å ha opparbeidet mer kunnskap om Design Structure Matrix, virket det ikke usannsynlig at matrise-verktøyet ville være egnet for enklere å strukturere arbeidet med å finne

avhengigheter mellom tegninger. Samtidig viste metoden seg som interessant å undersøke nærmere med hensyn på at den iht. teorien skulle kunne benyttes til å gi en kompakt og klar fremstilling av komplekse systemer og i tillegg utlede forslag til forbedringer for systemet. Derfor ble det avgjort at metoden skulle undersøkes videre. Dette var også utgangspunktet for utarbeidelse av en underproblemstilling som avgrenset oppgaven. DSM teorien la grunnlaget for utarbeidelsen av intervjuguidene, og derfor kan studiet refereres til som et teoretisk informert casestudie, jamfør Yin (2003). I forkant av intervjuene forsøkte vi å gi de intervjuede en bakgrunn for intervjuene og forklare dem formålet med oppgaven. For videre beskrivelse av hvordan intervjuguiden ble utarbeidet og intervjuene utført, se kapittel 11.3.

2.2.5 Andre kvalitative studier

Det ble i tillegg til intervjuene også foretatt noen evalueringer med prosjekteringsgruppen. Under det første evalueringsmøtet var målet å forsøke sekvensere tegningsleveransene i den rekkefølgen som de faktisk ble påbegynt i prosjektet. Mellom dette evalueringsmøtet og neste, pågikk intervjuene med de ulike fagdisiplinene, hvor formålet hovedsakelig var å kartlegge avhengighetene. Resultatene av disse intervjuene ble evaluert i det andre evalueringsmøtet. En mer utfyllende beskrivelse av informasjonen og responsen som fremkom under disse evalueringene og hvordan de gikk for seg, er ytterligere beskrevet i kapittel 0. Begge evalueringsmøtene viste at det var stort engasjement for sakene som ble tatt opp, det utviklet seg til å bli noen fruktbare diskusjoner.

2.3 Pålitelighet

Hvor godt avspeiler innsamlet informasjon/data virkeligheten? Kan vi stole på informasjonen fra våre informanter (intervjuobjekter)? Dette er momenter Isaksen (2012) trekker frem som viktig å evaluere som et ledd i å sikre god pålitelighet.

I forhold til intervjuet som ble avholdt med produksjonsleder, så var svarene han gav i stor grad basert på hans erfaringer med tegningsleveranser fra tidligere prosjekter. Svarene han gav i intervjuet, sammen med opplysninger som fremkom etter uformelle samtaler med andre aktører i Skanska, gjorde at vi med ganske stor sikkerhet kunne konkludere at Skanska, i likhet med byggebransjen generelt, har et behov for en forbedret prosjekteringsprosess. Dette kan virke litt bastant, men som en følge av at de vi snakket med oppgav at feil i produksjonsunderlag og forsinkelser har skjedd i tilnærmet alle prosjekter de hadde vært med i, gav dette oss tydelig svar på at dette er et problem.

Intervjuene som ble holdt med de prosjekterende i prosjekt Søndeled, der de ble spurt om avhengighetene mellom tegningene, ble utført før de fleste av tegningene var blitt produsert, og aktørene måtte dermed forsøke å se for seg hvilke tegninger de kom til å bruke, med andre ord, ble flere av svarene gitt på bakgrunn av erfaring. Svarene ville av den grunn ikke reflektere virkeligheten 100 % for dette caset. En alternativ måte å komme frem til den samme informasjonen, måtte vært ved å observere hver enkelt aktør under utarbeidelsen av tegningene, og på den måten vært vitne til hvilken informasjon de faktisk tar i bruk fra andre tegninger under utarbeidelsen av sine egne. Dette ville mest sannsynlig gitt mer eksakte og korrekte data, men hadde krevd svært mye ressurser. Videre, dersom man skal benytte DSM-metodikken i «det virkelige liv», ville ikke registreringen av avhengighetene skje ved observering, men heller tilnærmet slik vi har gjort det, fordi det er nødt til å skje i forkant av arbeidet som skal utarbeides for å ha noen nytte. Vi kunne selvfølgelig også foretatt en oppfølging med en ny intervjurunde, der vi igjen hørte med aktørene om hvilke tegninger de benyttet. Dessverre fant vi ikke tid eller kapasitet til å gjøre det. Det at vi avgrenset kartleggingen av avhengigheter til kun å ta for seg 1. etg., og ikke hele prosjektet under ett, kan ha bidratt til at aktørene fikk det vanskeligere å svare for hva de er avhengig av, siden avhengighetene også er store mellom de ulike bygningsdelene (etasjer osv.). I kapittel 12.3 er det videre utdypet om hvordan vi vurderte påliteligheten av intervjuene.

Evalueringsmøtene som vi avholdt var preget av prosjektgruppens impulsive reaksjoner og meninger. De gjorde evalueringene på bakgrunn av den erfaringen og kunnskapen som de sitter med, men kunne nok med fordel ha fått en enda dypere innføring i DSM-metodikken for at de kanskje da ville hatt enda bedre grunnlag for å foreta evalueringene. Likevel anså vi det som at deres erfaringer var nok til at vi kunne stole på de vurderingene som ble delt under evalueringsmøtene. Tidspress var et stort problem. Vi opplevde flere ganger at tiden for de prosjekterende var for knapp, og fikk derfor ikke tid til en like grundig evaluering som det vi så for oss. Dette problemet kunne muligens vært unngått dersom vi hadde vært flinkere til å forberede de prosjekterende i forkant av evalueringsmøtene.

To av de prosjekterende ble i løpet av prosjekteringsprosessen av ulike grunner byttet ut, men vi anser ikke dette til å skulle ha fått noen spesiell effekt på resultatene. Intervjuene ble tatt med de av aktørene som alt i alt hadde mest med prosjektet å gjøre.

Båndopptaker kan, ifølge Isaksen, være med å styrke påliteligheten av intervjuene, og derfor var det også at vi benyttet det. Det gav mulighet for å gå tilbake for å kontrollere informasjonen som ble innhentet. Men det er viktig å huske på at bruk av båndopptaker også har sine svakheter. Det er ikke sikkert man får like åpenhjertede opplysninger dersom alt som blir sagt kan dokumenteres. Men dersom man da, etter man er ferdig med å spørre de spørsmålene man har, slår av båndopptakeren, og spør om intervjuede har noe mer å tilføye, så kan det hende man får bukt med litt av denne problemstillingen.

Videre styrket det påliteligheten av intervjuene at det på forhånd ble utarbeidet intervjuguider, slik at intervjuene ble delvis strukturert, og spørsmålene reflekterte hva som var viktig å finne ut i forhold til besvarelse av problemstillingen. Det at vi i gjennomføringen av intervjuene alltid var to, gav også en styrke til påliteligheten.

Båndopptaker ble også benyttet under evalueringsmøtene med de prosjekterende. Ved å ta opp det som ble sagt, så fikk diskusjonene gå sin naturlige gang, uten at det behøvdtes å foretas avbrytelser for å få skrevet ned informasjonen. Dette bidro også til en bedre utnyttelse av tiden vi hadde til disposisjon med de prosjekterende, noe som var svært betydningsfullt, siden tiden med dem i utgangspunktet var knapp.

Ytterligere pålitelighetsevalueringer av intervjuene og evalueringsmøtene, er foretatt i kapittel 11.3, 0, 12.2.1 og kapittel 12.3.

2.4 Gyldighet

Måler data de riktige tingene? Er indikatorene relevante? Kan innsamlet informasjon/data belyse forskerspørsmålene på en god måte? Isaksen (2012) foreslår å spørre seg disse spørsmålene når man skal vurdere gyldigheten (validiteten) av innsamlet data. Det er også viktig å vurdere om det kan være kontekstuelle forhold som kan virke inn på gyldigheten av data. Eksempelvis fase i prosjekteringen, entreprisform, type prosjekt osv.

Hvorfor det å kartlegge avhengighetene mellom tegningene, og da særlig de gjensidige avhengighetene, var relevant i forhold til å besvare forskerspørsmålet, er nærmere forklart i kapittel 8 hvor målene med kartleggingen er opplistet.

Hva som gjorde evalueringsmøtene relevante for oppgavebesvarelsen diskuteres nærmere i oppgavens kapittel 0. Evaluering av DSM-resultatene med prosjekteringsgruppen. Årsaken til at det gjøres senere i oppgaven, og ikke her i metodekapittelet, er at leseren vil ha bedre forutsetninger for å forstå sammenhengen etter å ha lest teorien og analysen.

Ved kvalitativ forskning må også generaliserbarheten av resultatene drøftes. Undersøkelsene er i denne oppgaven kun utført på ett case, og resultatene av disse undersøkelsene gjelder kun for dette caset. Resultatene hjelper oss likevel til å se sammenhenger som kanskje vil kunne generaliseres dersom man foretar undersøkelsene på flere case, og videre, som nevnt tidligere, er mange av svarene til respondentene basert på erfaring, og kan av den grunn til en viss grad generaliseres. Det må i så fall gjøres med varsomhet. Unikheten ved prosjekter er med å gjøre det vanskelig å generalisere resultatene av de undersøkelsene som er gjort.

3 PROSJEKTERING OG PROSJEKTERINGSLEDELSE

3.1 Prosjektering

Som en naturlig konsekvens av at denne masteroppgavens tema og problemstilling omhandler prosjektering og prosjekteringsledelse, er dette kapittelet skrevet for å gi en nærmere innføring i hva disse emnene dreier seg om. Det vil i så måte være et fundament for det videre arbeidet, og tanken er at det vil kunne gi dypere kunnskap om hva som er utfordringene knyttet til byggprosjektering.

Prosjektering er et innarbeidet uttrykk i byggeprosessen, men definisjonen er imidlertid upresis og begrepet oppfattes forskjellig, ifølge Meland (2000). I sin videste forstand brukes begrepet «planlegging i byggebransjen» som et synonym med prosjektering. Betraktes prosjekteringen primært som plangrunnlaget for bygging, drift og videreutvikling av byggverket, er dette en fornuftig bruk av begrepet. I generell kontekst kan vi omtale prosjektering som design- og produktutviklingsprosesser (Browning T. R., 2001).

Prosjekteringsbegrepet blir tilnærmet synonymt med begrepene design- og produktutvikling dersom begrepet benyttes for hele delprosessen fra de første program- og idéskisser via ferdige produksjonstegninger til FDVU-dokumentasjon. Disse betraktningene er hentet fra Melands doktorgradsavhandling (2000) som har prosjekteringsledelse som tema. Ifølge Browning (2001) har mange funnet hjelp i å tenke på produktutvikling eller designprosesser fra et informasjonsprosess-perspektiv, der aktiviteter tilegner seg og foredrer informasjon for å produsere nye og reviderte designprodukt.

Prosjekteringsfasen er en tverrfaglig forberedelse til å produsere et byggeprosjekt. Det er definert og spesifisert noen mål, og i prosjekteringsfasen planlegges det hvordan en skal nå disse målene i løpet av produksjonsprosessen. Prosjekteringen består oftest av flere faser, avhengig av valg og detaljering. (Arge, Moe, & Westgaard, 2010)

Prosjekteringen består i all enkelthet av tegning, beregning og teknisk beskrivelse. Dokumentene som her produseres legger viktige føringer for det videre arbeidet med prosjektet, og har dermed stor innvirkning på det endelige resultatet. (Arge, Moe, & Westgaard, 2010)

3.2 Prosjekteringsledelse

3.2.1 Hva er prosjekteringsledelse

Ifølge Meland (2000) så er prosjekteringsledelse en vesentlig mer krevende ledelsesoppgave enn prosjektledelse. I motsetning til prosjektleder, som har mulighet til å utøve makt, vil ikke dette fungere for en prosjekteringsleder. Prosjekteringsledelse handler mer om kunnskapsledelse der både kreative utviklingsprosesser og håndtering av informasjon for produksjon inngår (Arge, Moe, & Westgaard, 2010).

Enkelt forklart kan vi si at prosjekteringsledelse er å vise vei i designarbeidet og å gi støtte på veien mot et resultat. Begrepet prosjekteringsledelse (eng: Building Design Management/Engineering Management) er sammensatt av ordene prosjektering og ledelse, der begrepet prosjektering kan spores tilbake til det greske språket. I sin opprinnelige, greske form betyr prosjekt *noe som kastes fram*. Dette er ifølge Meland (2000) en dekkende beskrivelse for den innledende fasen i prosjekteringsprosessen, der idéer fortløpende lanseres for drøfting, forhandling og beslutning. Med andre ord betyr prosjektering å kaste fram konseptideer og bearbeide disse til en ferdig modell (tegning).

Det andre elementet, ledelse, står også sentralt. I byggeprosessen tillegges prosjekteringsleder ansvaret for å lede prosjekteringsprosessen med å lansere konseptidéer og samordne ulike interesser og forventninger og bearbeide den valgte idé fram til det ferdige immaterielle produkt. Meland definerer i sin doktorgradsavhandling prosjekteringsledelse som ”ledelse av prosessen med å lansere konseptuelle idéer og bearbeide den valgte idé til et ferdig, immaterielt produkt i form av tegninger, modeller, beskrivelse og lignende”. Boyle (2003, s. 10) definerer prosjekteringsledelse slik:

«Design management involves understanding, coordinating and synthesizing a wide range of inputs while working alongside a diverse cross-section of multidisciplinary colleagues»

Ifølge Kristensen (2011) er målet med prosjekteringsledelse å sikre en best mulig overlevering og implementering av et feilfritt produksjonsmateriale som gjenspeiler byggherrens program og alle interessenters behov. De fire nøkkelbegrepene i den prosessen som skal ledes, er ifølge Meland samordning og balansering av:

- bygningsutforming
- planlegging for bruk
- produksjonsforberedelser
- planlegging av videreutvikling

Som det ble presisert i innledningen, så legger prosjekteringsprosessen mye av grunnlaget for i hvilken grad man vil lykkes med et byggeprosjekt eller ikke, noe vi forstår når vi ser på de fire nøkkelbegrepene i prosessen som skal ledes.

Fremskaffing av nøyaktig informasjon og fremskaffing av denne informasjonen til rett tid er en viktig del av prosjekteringsprosessen (Arge, Moe, & Westgaard, 2010). Dette høres kanskje selvfølgelig ut, men det er ganske ofte at dette ikke forekommer (Choo, Hammond, Tommelein, Ballard, & Austin, 2003).

3.2.2 Prosjekteringsleders oppgaver

Det skilles ofte mellom prosjekteringsledere i prosjekteringsgruppen, hos entreprenør og hos byggherren. Prosjektet Søndeled kjøres som en totalentreprise, som betyr at Skanska selv står som ansvarlig for prosjekteringsledelse. Det er denne funksjonen, prosjekteringsledelse i prosjekteringsgruppen hos entreprenøren, som vi fokuserer på i denne oppgaven.

Prosjekteringsleder blir også kalt prosjekteringsgruppeleder, for å markere forskjellen fra en eventuell byggherreintern prosjekteringsleder. Derimot så vil oppgaven videre benytte prosjekteringsleder som begrep, selv om det menes prosjekteringsgruppeleder. Funksjonen som prosjekteringsleder, kan ivaretas av en av de prosjekterende, altså arkitekt eller rådgivende ingeniør, dog er det blitt vanlig at funksjonen bekles av en egen person med prosjektadministrativ bakgrunn fra byggebransjen, særlig i store komplekse prosjekter.

Den eller de som fyller funksjonen, skal representere prosjekteringsgruppens forslag til løsninger på byggherrens program, i forhold til byggherrens organisasjon. Funksjonen dekker både faglig og administrativ ledelse av prosjekteringen på henholdsvis skisse-, forprosjekttrinnet og detaljprosjekttrinnet, eller så lenge prosjekteringsgruppen har forpliktelser i forhold til oppdragsgiver eller myndigheter (Arge, Moe, & Westgaard, 2010).

Ifølge Meland(2000) er prosjekteringslederens jobb å besørge intern samordning av de ulike bidragsyterne i prosjekteringsprosessen, dvs. sikre at prosjekteringsprosessen er optimalt

organisert og strukturert i forhold til prosjektet som skal løses, og sikre tilstrekkelig integrerende og koordinerende tiltak slik at arbeidet kan gå fremover på en meningsfylt måte. De ulike bidragsyterne er arkitekt, tekniske rådgivere, bygningsmyndighetene, byggherre osv. Prosjekteringsledelsesfunksjonen omfatter en rekke administrative og faglige oppgaver. For at denne funksjonen skal utføres på en best mulig måte, bør prosjekteringslederen, iht. Meland (2000) inneha følgende egenskaper og kompetanse:

- kjenne til hele prosessen, fra programmering, prosjektering, utførelse, overlevering, FDVU
- ha erfaring fra prosjektering
- ha tverrfaglige kunnskaper om bygninger
- ha evnen til å mekle
- være beslutningsdyktig
- ha ”øye” for grensesnittproblemer
- være tro mot oppdragsgivers behov og gitte rammer

3.3 Prosjekteringsorganisasjonen

Prosjekteringsorganisasjonen er hovedansvarlig for å utvikle det immaterielle produktet (modellen av bygget, tegninger), som legges til grunn for produksjon, bruk og videreutvikling av bygningen. Prosjekteringsgruppens produkt skal i korte trekk gi utformingsløsninger som tilfredsstillende en rekke forhold. For det første må bygningen tilpasses brukernes drift. Det inkluderer kommunikasjonssystemer, tilførsel av kaldt og varmt vann, elektrisitet og etablering av innemiljøstimulerende tiltak som temperert tilluft, varme- og kjølekapasitet. For det andre må produktet ivareta omgivelsene med hensyn på estetikk, men også beskyttelse mot ytre belastninger som solstråling, vind, snø, regn, kulde, markfukt og forurensninger. Et viktig forhold er at produktet er egnet for en rasjonell byggeplassproduksjon. Og sist, men ikke minst, er det essensielt at produktet ikke overskrider de rammer som er definert for kostnader, gjennomføringstid, kvalitetskrav og myndighetskrav (Meland, 2000).

I totalentrepriser foreligger ikke modellen av bygningen (det immaterielle produktet), eller den er sterkt mangelfull, ved kontraktsinngåelse. I en totalentreprise er i prinsippet totalentreprenøren ansvarlig for prosjekteringen, og modellen ligger derfor innenfor totalentreprenørens risikoområde. I praksis ser vi imidlertid at den innledende utforming av modellen ofte foregår uavhengig av totalentreprenøren, i et samspill mellom byggherre og

arkitekt, eller mellom byggherre, arkitekt og et utvalg andre rådgivere, slik som i de tradisjonelle entrepriseformene. Når konseptets hovedtrekk og funksjonskravene er rimelig avklart, tilknyttes en totalentreprenør som da må påta seg ansvaret for videreutviklingen av modellen og risikoen for helheten i denne. Oftest har da totalentreprenøren en opsjon om å overta byggherrens rådgivere fra de innledende arbeider og inngå kontrakter med disse om ferdigstillelse av modellen.

3.3.1 Arkitektens oppgaver

Ifølge (Meland, 2000) er arkitekten vanligvis en sentral aktør i prosjektering av byggverk, og er normalt den dominerende aktør angående påvirkningsmulighet på det endelige resultatet. Innenfor de rammer, forskrifter og regler som er gitt, er arkitekten den sentrale leverandøren av byggverkets form, uttrykk og helhet. Arkitektens rolle blir å sammenfatte estetiske, funksjonelle og tekniske krav. Økt kompleksitet på tekniske systemer har ført til at arkitekten ikke står alene om den totale utformingen av byggverk. Ofte er det et betydelig omfang av tekniske rådgivere, og deres bidrag er viktig for å oppfylle kravene til byggverket. Arkitekten tillegges dog ofte rollen som den «faglige samordner».

Arkitekten har en sentral rolle ved informasjonshenting og forhandlingene med bygningsmyndighetene, brukerne, rådgivende ingeniører og totalentreprenør. Under slike forhandlinger kan det forekomme krav som ender i konflikt med arkitektens estetiske oppfatning og kunstneriske idéer, selv hovedkonseptet kan bli utfordret. Arkitekten må derfor utarbeide flere utkast til løsninger og utforming før en omforent hovedutforming er ferdigforhandlet og klar for detaljprosjektering med tanke på bygging. Som hovedansvarlig for byggverkets uttrykk og helhet har arkitekten et betydelig arbeid med konstruksjonstekniske elementer, som for eksempel tekniske løsninger og utforming av yttervegger, tak, innervegger og andre overflater. Dette gjøres i nært samarbeid med de øvrige prosjekterende. For eksempel skal rådgivende ingeniør i byggeteknikk innpasse byggets bæresystem til vegger og dekker, mens rådgivere innen VVS og elektronikk ønsker å skjule sine rørføringer i konstruksjonen.

Det er vanlig praksis at arkitekten utarbeider konstruksjonsunderlag for de øvrige rådgiverne. Plan -og snittegninger inngår som direkte grunnlag for de andre rådgivernes tegninger. Dette løses som oftest gjennom overføring av datafiler mellom partene (Meland, 2000).

3.3.2 Rådgivende ingeniører

Rådgivende ingeniør i byggeteknikk, RIB, står med hovedansvaret for byggverkets totale bæreevne og stabilitet. I samråd med arkitekt velges bygnings- og konstruksjonsmaterialer, konsept for bæresystem osv. Normalt har RIB også ansvar for valg av fundamenteringsprinsipp (peling osv.) Dersom det er veldig kompliserte forhold blir det ofte engasjert geotekniske rådgivere som støtte. Hovedutfordringen til RIB er å optimalisere det bæretekniske systemet med tanke på økonomi og tekniske løsninger, samt at fremkommelighet for kanaler, rør og elektroniske føringer i byggverket sikres. Tradisjonelle konflikter finnes mellom dragere/søylar i betong, tre eller stål og de tekniske forsyningssystemene, og disse er ofte grunnlag for forhandlinger mellom rådgiverne. (Meland, 2000)

Rådgivende ingeniør i VVS-teknikk, RIV, har ansvaret for å dimensjonere og utforme systemer for tilførsel av tilstrekkelig kapasitet av varmt og kaldt vann, temperert luft, og eventuelt kjølekapasitet. RIV står også ansvarlig for dimensjonering av nødvendige avtakssystemer for avløpsvann/kloakk, for forbrukt luft og eventuelle spesialsystemer som søppelsug og sentralstøvsug, i tillegg til takavvanningssystem, dreneringssystem og sprinklersystem. Avgjørende og dimensjonerende kriterier for slike løsninger og forsyningssystemer vil som regel være sol- og vindforhold, snø, forurensninger fra forbrukernes prosesser, kulde, brannbelastning, krav til energieffektivitet og innemiljø. (Meland, 2000)

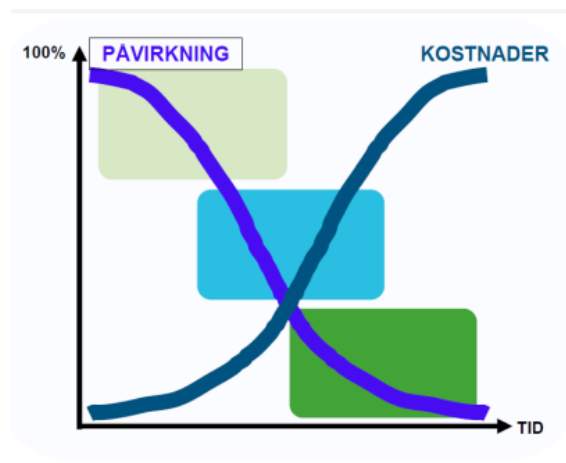
Rådgivende ingeniør i elektroteknikk, RIE, har hovedansvar for å dimensjonere og utforme systemer med tilstrekkelig tilførsel av effekter, spenning og strømstyrke til aktuelle brukssteder i hele bygget, som står i henhold til gitte krav. Andre ansvarsområder er transport og kommunikasjonssystemer for heis, tele, data, overvåkningssystemer som brannalarm, adgangskontroll og sentral driftskontroll for teknisk anlegg. Det sentrale her er styring av innemiljøet. (Meland, 2000)

Det er viktig at RIE har et nært samarbeid med RIV for å oppnå optimalt driftskontroll- og styringssystem. Dette krever en del koordinering mellom disse to rådgivergruppene. Arbeidsfordelingen mellom dem er også vekslende fra prosjekt til prosjekt. RIE har ansvaret for elektrisk oppvarming, dersom dette velges. RIV og RIE har til felles at de må forholde seg

til kravene til installasjons- og vedlikeholdsteknisk framkommelighet for tilførsels- og avtakssystemene. I samarbeid med arkitekt og RIB må det derfor gjennomføres spesielle vurderinger knyttet til vertikale sjaktplasseringer og horisontale føringsveier, og plassbehovene i denne sammenheng. (Meland, 2000)

3.3.3 Prosjekteringsorganisasjonens påvirkningsmuligheter i byggeprosjekter

De prosjekterende har stor mulighet for innflytelse og påvirkning i starten av prosjekteringen, og endringer som foretas tidlig har marginal tids- og kostnadskonsekvens. Jo tidligere feil blir oppdaget, desto bedre. Påvirkningsevnen reduseres etter hvert som tiden går (se Figur 1). I utførelsesperioden har prosjekteringsgruppen liten påvirkningsmulighet på framdrift og økonomien i prosjektet. Endringer sent i prosjektet får økonomiske og/eller fremdriftsmessige konsekvenser. (Samset, 2008)

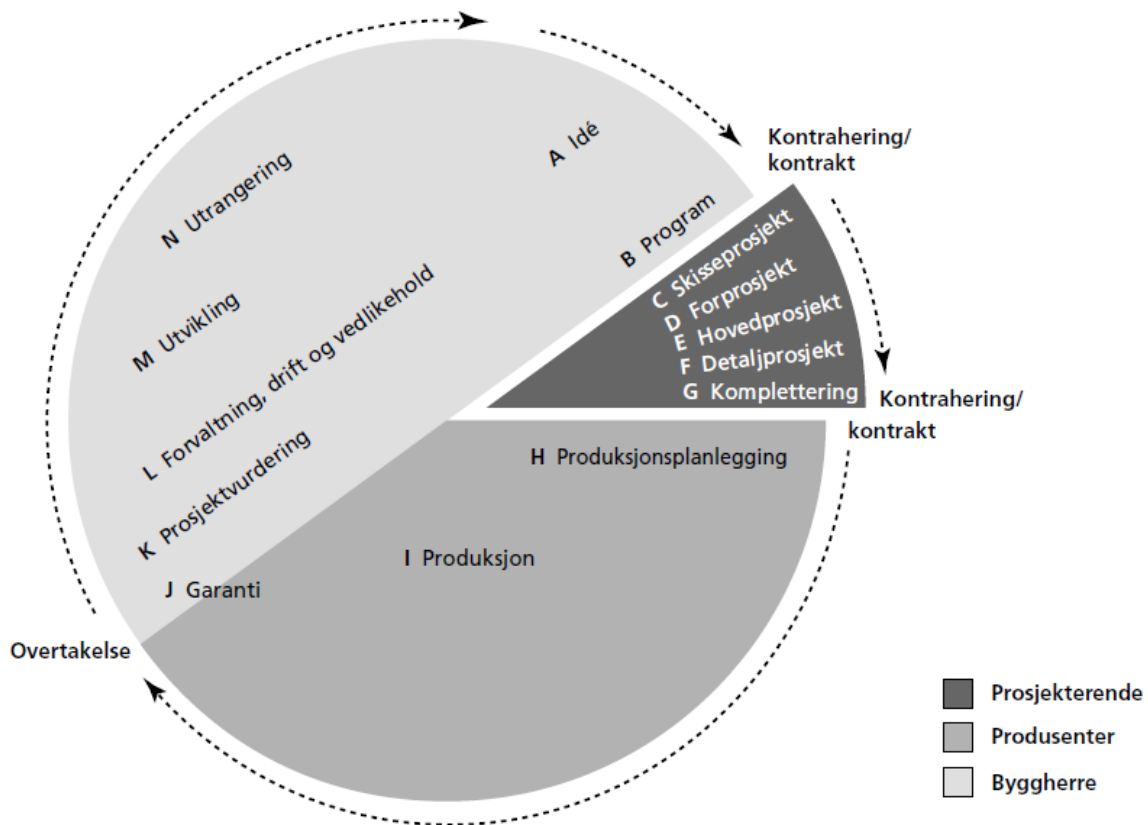


Figur 1 Påvirkningsevnen reduseres med økende tidsakse (Sweco v/Rune Hovda, 2011)

Det er derfor svært viktig at det gjøres en god jobb med prosjekteringen og at rammene legger til rette for tilstrekkelig tid i prosjekteringen, uten at de går utover produktiviteten.

3.4 Prosjekteringsfasen.

En byggeprosess har flere faser, slik det illustreres i Figur 2. Innhold i fasene og dets oppdeling kan variere fra bransje til bransje, og fra prosjekt til prosjekt. Men som et minimum inneholder byggeprosessen en programmeringsfase, en prosjekteringsfase og en byggefase. Mellom disse fasene er det aktørskifter. Programmeringen foretas normalt i regi av byggherre/brukere. Prosjekteringsgruppen har regien for gjennomføringen av prosjekteringsfasen, mens byggingen gjennomføres med en entreprenør og diverse underleverandører i bresjen.



Figur 2 Byggeprosess fra idé til utrangering (Meland, 2000)

Gjennom hele prosessen er stadig nye aktører inne, som ordner med sitt fagfelt, for så å forlate prosjektet. Aktørskiftet fra en fase til en annen gjør at betydelig informasjon og kunnskap bygget opp gjennom en fase går tapt i overgangen til neste. Dermed må kunnskapen bygges på nytt. Dette bidrar også til at det blir lettere å lempe ansvar over på leddet før eller etter. Samtidig har aktørskifter og faseinndelingene sine fordeler. Tidsavgrensning på en oppgave vil normalt øke aktørens mestringsgrad. Dette understreker viktigheten av klare mål og tidsfrister. Videre understreker det også viktigheten av å dele prosjektet inn i faser, hvis betydning også sterkt understrekes i prosjektlitteraturen (Meland, 2000). Selve prosjekteringen av et bygg deles hovedsakelig inn i skisseprosjektfase, en forprosjektfase og en detaljprosjektfase.

For å korte ned byggetiden er det blitt vanlig i større totalentrepriser å gjennomføre prosjektering og bygging som tidsmessig delvis parallelle aktiviteter. Bakgrunnen for dette, er et ønske om å spare tid, for å få en raskere ferdigstilling. Med andre ord: kortere ledetid. Eksempelvis så starter fundamenteringen og grunnarbeidene før prosjekteringen av de

resterende bygningsdelene er ferdigstilt. Prosjekteringsarbeidet gjennomføres med fokus på bygningsdelene. Bygningsdelene prosjekteres ferdig en etter en, for så straks å bygges. Mao. utføres deler av byggearbeidet før alle forhold av teknisk, funksjonsmessig og økonomisk art er fastlagt. Denne metoden egner seg best for sterkt oppdelte sideentrepriser og totalentrepriser, som kan tilpasses en slik prosess. Videre stilles det betydelige krav til forprosjektets fasthet ved å bruke en slik metode. Fordelen med metoden er at den kan gi økt fleksibilitet med tanke på enkle endringer sent i byggeprosessen.

3.5 Prosessen med å utarbeide tegninger

Tegninger er resultatet av en designprosess. Forståelse av hvordan en prosess fungerer gir mulighet til å utnytte ressurser på en bedre måte, gjennom tiltak som går på prosessforbedring, effektivisering osv. Begrepet prosess kommer av det latinske ordet «processus» som betyr bevegelse, som relaterer til endring eller «endring av tilstand». En prosess blir i faglitteraturen definert på følgende måter: (Brekke, Sønstebø, Wiig, & Meiningen, 2008, s. 14)

«En prosess er en strukturert og målbar flyt av aktiviteter som har som formål å produsere et resultat til en spesifikk kunde internt eller eksternt.»

«En prosess er et sett med aktiviteter og oppgaver som bruker ressurser for å få i stand en omdannelse av innsatsfaktorer til resultater.»

Tegninger endrer tilstand. De starter som et utkast og foredles gjennom tilføring av ny informasjon fra ulike aktører gjennom flere faser, helt til tegningene er komplette og kan kalles arbeidstegninger. Under hele denne foredlingsprosessen kalles tegningene for prosjekteringstegninger.

3.6 Den iterative prosjekteringsprosessen

Veiseth, Røstad, Andersen, Torp, & Austeng (2004) påpeker at mer komplekse bygg gir stadig flere grensesnitt, og kombinert med fragmenterte aktører med mindre ansvarsområder, gir dette kompleks koordinering og ofte problemer. I en prosjekteringsprosess så legger de ulike aktørene fram sine bidrag og disse bidragene må gjensidig tilpasses gjennom flere runder med diskusjoner for å komme frem til en tilfredsstillende løsning. Slike runder med diskusjoner blir ofte omtalt som iterasjoner.

Iterasjoner er et vanlig fenomen i en prosjekteringsprosess. Byggprosjektering blir karakterisert som en komplisert og iterativ prosess. En iterasjonsprosess blir i Business Dictionary (2012) forklart som en prosess for å komme fram til en beslutning eller et ønsket resultat gjennom repetisjon av aktiviteter. Målet med hver repetisjon (iterasjon) er komme et steg nærmere den ønskelige beslutningen (resultatet). Iterasjoner forekommer ofte i prosesser hvor det ikke er hensiktsmessig å gå tilbake på beslutningene som er tatt, eller hvor konsekvensene av å gå tilbake på beslutningene kan bli kostbart. Eppinger & Smith (1997) forfatter at designiterasjoner er repetisjon av design aktiviteter forårsaket av nyopplaget informasjon.

Mens iterasjoner (omarbeid) anses som sløsing i byggefasen, er det helt essensielt for å generere verdi i designfasen ifølge Ballard (1999). Derimot genererer ikke alle iterasjoner verdi. Iterasjoner som kan elimineres uten verditap anses som sløsing jamfør lean prinsippene. Iterasjoner oppstår i designprosesser av flere grunner (Eppinger & Smith, 1997):

- En oppstrøms aktivitet må nødvendigvis gjentas når det oppdages feil eller manglende kompatibilitet ved en nedstrøms aktivitet.
- På samme måte må nødvendigvis en nedstrøms aktivitet gjentas når endret/modifisert informasjon blir sendt fra en oppstrøms aktivitet. Dette kan være pga. at man må rette opp en feil som er gjort tidligere, eller at prosjektet tar en annen retning.

Design iterasjoner forårsaker omarbeid (rework) eller foredling av designet ettersom man må returnere til tidligere beslutninger og foreta endringer, ifølge Pektaş og Pultar (2006). Videre påpeker forfatterne at det er to typer iterasjoner:

- Forventede iterasjoner (Expected iteration)
- Uventede iterasjoner (Unexpected iteration)

Forventede iterasjoner (expected iteration) er ofte et resultat av at nedstrøms aktiviteter «avslører» aspekter ved oppstrøms aktiviteter som gjør at disse oppstrøms aktivitetene må gjentas, f.eks. ved at designbeslutninger blir tatt uten at all informasjon som er nødvendig for å ferdigstille dem er fullstendig kjent. Etter hvert som denne informasjonen blir tilgjengelig, gjentas designaktivitetene for så at man kommer nærmere imøtekommelse av designkravene.

Uventede iterasjoner (Unexpected iteration) skyldes blant annet at man mislykkes med å samle nødvendige designspesifikasjoner og at ny informasjon kommer for sent inn i prosessen (utilgjengelig informasjon). Uventede iterasjoner kan også genereres av endringer i informasjonen som er fremskaffet eller mottatt av en parallell (concurrent) eller gjensidig avhengig aktivitet.

Brown (1998) forklarer at første steg mot å redusere prosjekteringstiden ligger i å minimalisere uventede iterasjoner. Selv om iterasjoner forekommer i alle designprosjekter, så er det ikke etablert systematiske verktøy for å lede slike. Iterasjoner gjør det komplekst å planlegge fremdrift for designarbeidet. De blir ofte fremstilt mellom aktiviteter som «looper» eller «feedback-sløyfer».

3.7 Årsaker til prosjekteringsfeil

«Mindre prosjekteringsfeil gir lavere byggekostnader, mer forutsigbar byggeprosess og sikrere fremdriftsstyring av byggeprosjekter» (COWI, 2008, s. 1)

Sitatet over understreker at ved å forsøke å hindre at prosjekteringsfeil skjer, vil man kunne oppnå en mer forutsigbar byggeprosess og sikrere fremdriftsstyring av byggeprosjekter. Problemstillingen i denne oppgaven tar for seg nettopp dette, hvordan man kan legge til rette for effektiv og forutsigbar byggeprosess. Som et ledd i å finne nærmere ut hvordan prosjekteringen kan organiseres og ledes for å oppnå dette (hindre prosjekteringsfeil), er det av betydning å se nærmere på hva som kan være årsakene til at prosjekteringsfeil skjer.

En rapport utgitt av COWI i 2008, fremlegger en kartlegging av årsaker til prosjekteringsfeil i forskjellige typer byggeprosjekter. Rapporten har i tillegg hatt som mål å avdekke ”best praksis” for prosjektplanlegging og gjennomføring, som gir liten grad av prosjekteringsfeil. Det konkluderes med at byggeprosjekter kan få betydelige endringskostnader, fra 8 % av bestillingskostnadene på mindre prosjekter til over 20 % på større og mer komplekse bygningsprosjekter (COWI, 2008). De viktigste årsakene til endringskostnader er i følge rapporten:

- Mangelfull kommunikasjon og samarbeid
- For lave prosjekteringshonorarer
- Avvik fra prosjekteringsgrunnlag

- Mangelfull prosjekteringsledelse
- Utilstrekkelig prosjekteringskontroll
- Rutiner for tverrfaglig kontroll og endringsbehandling

God kommunikasjon er helt nødvendig for å unngå feil som fører til endringskostnader. Det er sammenheng mellom prosjekteringskostnadene (honorarer) og endringskostnadene. Dersom prosjekteringskostnadene reduseres, øker endringskostnader. Avvik fra prosjekteringsgrunnlaget dvs. myndighetskrav, brukerkrav og byggherrekrav kan resultere i store konsekvenser for fremdrift og økonomi. Det er også for dårlige rutiner på å holde oversikt over og sikre versjonsstyring (revisjoner) av det gjeldende prosjekteringsgrunnlaget.

Prosjekteringsledelsen viser seg ikke å være god nok i prosjektene. Dette gjelder spesielt faglig prosjekteringsledelse i utførelsesfasen, jamfør (Koskela, Ballard, & Tanhuanpää, 1997). Det oppleves at det er et stort gap i oppfatning av hva som er tilstrekkelig detaljering mellom de prosjekterende og de utførende. Det foreslås at det etableres større grad av samspill mellom de prosjekterende og de utførende, i forhold til å kvalitetssikre byggbarhet og nødvendig detaljering, samt grensesnitt mellom fagområder og entrepriser. Tunge administrative rutiner for tverrfaglig kontroll og endringsbehandling blir ofte en flaskehals i hektiske perioder.

I rapporten anbefales det å kontrahere/engasjere fagrådgivere innen spesialfag (brann, lyd osv.) på et tidlig stadium slik at det kan lages optimale løsninger (COWI, 2008). At disse fagene kommer inn på et tidligere stadium kan være av stor betydning for å unngå for mange endringer. Det at informasjon ligger til rette på riktig tidspunkt, har med andre ord mye å si for fremdriften til prosjektet generelt. Dette gjelder for alle fag. Videre at aktørene er klar over hvilken informasjon som må foreligge til enhver tid. Og som det blir påpekt i første punkt ovenfor, så er kommunikasjon også sentralt for å oppnå suksess med prosjekteringen. Som en følge av at informasjon og kommunikasjon opptrer som sentralt, vil neste kapittel behandle begrepene ytterligere.

4 KOMMUNIKASJON OG INFORMASJON

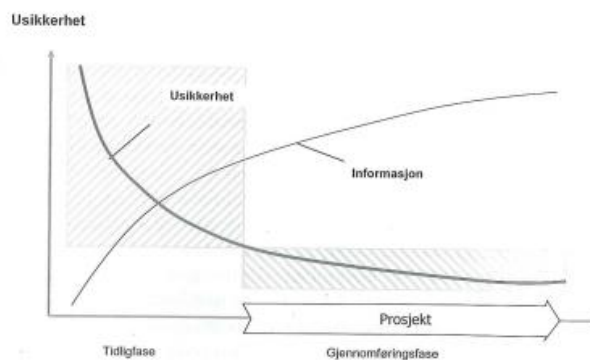
4.1 Forskjellen på kommunikasjon og informasjon

Begrepene «informasjon» og «kommunikasjon» blir ofte brukt om hverandre. En enkel måte å skille mellom begrepene på er å si at kommunikasjon betegner prosessen, og informasjon produktet eller budskapet. Informasjon er dermed det som blir formidlet i en kommunikasjonsprosess (Erlie, 2003).

4.2 Informasjonsteori

4.2.1 Informasjon som middel for usikkerhetsreduksjon

Det er vanlig å definere usikkerhet som mangel på relevant informasjon for å kunne ta den riktige beslutningen. Selv om ikke usikkerheten kan elimineres bare ved å skaffe informasjon, så er informasjon et nødvendig virkemiddel for å mestre og redusere usikkerhet. Dersom det antas at usikkerhet er størst i tidligfasen av et prosjekt, så vil man ha sterke incentiver til å skaffe mest mulig relevant informasjon på et tidlig tidspunkt. Man tenker at det også derfor vil være rasjonelt å investere i mer informasjon innledningsvis, og at man på dette tidspunktet vil ha størst utbytte av det. Senere i gjennomføringen, når usikkerheten er mindre, vil muligheten for å redusere usikkerheten bli mer begrenset, slik Figur 3 under viser. (Samset, 2008).



Figur 3 Sammenheng mellom usikkerhet og tilgjengelig informasjon (Samset, 2008)

I tidligfasen er det likevel ikke all informasjon som er tilgjengelig. Dette skyldes at prosjekter er dynamiske prosesser, der egendynamikken i prosessen og påvirkningen fra omgivelsene gjør at mye av det som skjer, ikke kan forutses. Mye av informasjonen blir til underveis. M.a.o. er usikkerhet noe man må leve med i prosjekter.

Derav blir sentrale spørsmål: Hva slags informasjon finnes? Hvilken type informasjon trenger en? Hvor går grensen for å nyttiggjøre seg av informasjon? (Samset, 2008).

4.2.2 Informasjonens forutsigbarhet

Man ønsker å kunne ta beslutninger basert på fakta, men må ofte gjøre antakelser (ta forutsetninger), som en konsekvens av at ikke all informasjon er tilgjengelig, særlig i tidlige fasen. Fremtiden kan bare til en viss grad være forutsigbar. Av og til kan kunnskap om tidligere trender gi grunnlag for å si at hendelser har en viss sannsynlighet. Men hvordan man tolker trendinformasjonen kan variere og gi ulike utfall. Det er av den grunn ikke tilstrekkelig bare å se til at informasjon foreligger, man må også inneha kompetanse til å fortolke hva den betyr, og hvilke implikasjoner den bør få i gjeldende situasjon. Siden beslutningsgrunnlag av og til bygger på antakelser, er det sentralt å spørre seg i hvilken grad forhold som er sentrale for beslutninger er forutsigbare. Det finnes en god del studier som viser at forhold som har skapt vesentlige problemer i prosjekter, var forutsigbare på det tidspunktet prosjektet ble planlagt. Derfor bør man søke å ta lærdom fra tilsvarende prosjekter utført under liknende forhold og bruke dette som retningsgivende for hvilken informasjon en trenger idet beslutningsgrunnlaget og premissene for prosjektet skal legges. Ved å gjøre informasjonssøk målrettet og styrt på denne måten vil man bidra til sterkt redusert risiko og økte muligheter. (Samset, 2008)

4.2.3 Informasjonens kostnad og nytte

Det å skaffe informasjon er også en kostnad. Dette bør man ta med i beregningen. Det er ikke mengden informasjon som er avgjørende, men at informasjonen man skaffer i størst mulig grad er relevant. Hva man mener er relevant informasjon kan variere. Noen avviser informasjon dersom det ikke passer inn med hva som allerede er bestemt, mens andre vil ha informasjon som tilfører prosjektet en merverdi utover det eksisterende grunnlaget. Andre igjen mener informasjon som får en til å stoppe opp og reflektere over beslutningene tatt så langt, er verdifull informasjon. Kvalitet fremfor kvantitet. For mye kunnskap kan gjøre det vanskeligere å fatte beslutninger. Vi mennesker er svært dårlige på å fatte beslutninger dersom vi har blandete alternativer. (Samset, 2008)

4.2.4 Hvordan skaffe informasjon med god gyldighet?

Hvordan skal en sikre et solid grunnlag for innhenting og bearbeiding av informasjon, som i tillegg er valid og pålitelig? Informasjonsteknologiens inntog i hverdagen har muliggjort en detaljering og presisjon man før trodde ikke ville bli mulig. Denne store tilgangen på

informasjon har bidratt til økte krav om etterprøvbarhet. Det blir lagt større vekt på verdien av tallbasert informasjon. Likevel er tekstlig informasjon nødvendig for å kunne gi en helhetsbeskrivelse av komplekse forhold. Mye informasjon kan i det hele tatt heller ikke kvantifiseres. Videre, dersom kvantitativ informasjon ikke er pålitelig, så kan det være mer hensiktsmessig å benytte kvalitative uttrykk, inntil pålitelig informasjon kan skaffes. Kvalitative vurderinger beskriver helheten, mens beskrivelsen gis presisjon ved kvantitativ informasjon. Som regel brukes derfor kvalitativ informasjon når vi kommuniserer. (Samset, 2008)

4.3 Kommunikasjonsteori

«Kommunikasjon er prosjektarbeidets smøresystem» (Meland, 2000, s. C35)

Kommunikasjon blir ofte tatt for gitt i en prosjektsammenheng. Dersom prosjektet er et temporært system, som vil si at en gruppe mennesker med ulik bakgrunn jobber i fellesskap med en oppgave av en viss kompleksitet over en begrenset tidsperiode, så betyr kommunikasjon og kommunikasjonskapabiliteter ekstremt mye for gjennomføringen. Dårlig og mangelfull kommunikasjon er på topp i listen over problemer og utfordringer som rapporteres i byggebransjen (Johannessen & Rosendahl, 2010). Kommunikasjon, eller mangel på kommunikasjon er den enkeltfaktoren som har ført til de største negative resultatene i prosjekter. En undersøkelse av Statoil Hydros problemer og utfordringer i prosjektsammenheng viste at kommunikasjon var den største årsaken til problemer og utfordringer. Samtidig viste undersøkelsen at dersom kommunikasjonen fungerte effektivt, bidro den sterkest til resultatene. Jo større og mer komplekse prosjektene er, desto viktigere er kommunikasjon for utfallet. To typer kommunikasjonsproblemer gjør seg særlig gjeldende: feilkommunisering/dårlig kommunikasjon og mangel på kommunikasjon. Fokus i prosjekter er oftest på tid, kostnader og kvalitet. Disse kriteriene bør suppleres med kommunikasjon. (Johannessen & Rosendahl, 2010)

Kognitiv motivasjonsteori legger vekt på at kommunikasjon kanskje er det viktigste virkemidlet man har, og er vesentlig for blant annet (Johannessen & Rosendahl, 2010):

- Motivasjon – gir grunn for handling
- Styring og kontroll
- Koordinering, utvikling og endring
- Markeds-, bruker- og kundeorientering

- Beslutningsfatning

Sentrale områder for kommunikasjon, og kanskje spesielt dialogen i byggeprosjekter er (Meland, 2000):

- Mål, planer og spesifikasjoner
- Endringer
- Ny informasjon
- Ros og ris

4.3.1 Intern kommunikasjon

Erlie (2003) definerer intern kommunikasjon som informasjonsflyten og utvekslingen av ideer og synspunkter mellom ledere og medarbeidere, og også kommunikasjonen mellom enkeltpersoner og grupper på forskjellige nivåer og i ulike enheter eller deler av en organisasjon. Erlie sier videre at intern kommunikasjon er et lederansvar. Ledelsen har det endelige ansvaret for resultatene, og er derfor avhengig av god kommunikasjon mellom medarbeiderne som skal skape resultatene. Videre er lederne bindeleddet som skal sørge for at medarbeiderne vet hva de skal gjøre, og at de har den nødvendige motivasjon til å gjøre en god jobb slik at virksomheten når sine mål.

Kommunikasjon er et av virkemidlene for å skape motivasjon, men ikke det eneste. En virksomhet har mye å tjene på god intern kommunikasjon. Blant annet kan det bidra til å unngå dobbeltarbeid, bedre flyt i beslutningsprosessene, større engasjement og kreativitet blant medarbeiderne, økonomisk lønnsomhet og økt produktivitet (Erlie, 2003). God internkommunikasjon har vist seg å være direkte koplet til å oppnå gode resultater i virksomheten. En norsk studie av internkommunikasjon viste at produktiviteten ble forbedret med 68 % i én del av virksomheten og 32 % i hele virksomheten, som en direkte eller indirekte følge av effektiv internkommunikasjon. (Johannessen & Rosendahl, 2010).

Mye fakta og praktisk informasjon kan med fordel formidles skriftlig eller elektronisk, men all verdens bedriftsaviser og elektroniske kanaler kan aldri erstatte den menneskelige kontakten (Erlie, 2003).

4.4 Kommunikasjon, samarbeid og målstyring i prosjektet

Karlsen (1998) skriver i sin bok om kommunikasjon at erfaringer fra utallige prosjekter viser at det ikke er flotte datasystemer, strømlinjeformede planer, imponerende organisasjonskart eller iherdig oppfølging som avgjør om et prosjekt blir suksess eller fiasko – selv om disse faktorene er viktige. Det som er det viktigste er at menneskene klarer å kommunisere, at de drar lasset sammen mot et felles mål, løser konflikter, oppmuntrer hverandre og gir hverandre konstruktiv kritikk. Man bør tilstrebe å få til en samstemthet rundt målene, ha en felles forståelse av dem, og at alle skal føle et eierskap til målene. Det er også en god ting om deltakerne deltar aktivt i utarbeidelsen av delmål og milepæler – som i seg selv kan være et godt middel til god kommunikasjon. (Karlsen (red.), 1998)

5 KOORDINASJONSTEORI

I en prosjekteringsprosess er det mange avhengigheter, noe som gjør at koordinering blir svært nødvendig. Grunnleggende koordinering anses som en ledelsesoppgave, og oppstår pga. behovet for å håndtere avhengigheter mellom mange aktiviteter. Teknologiske egenskaper ved ulike arbeidsoppgaver, gir behov for ulike former for koordinering. Hvis fagpersonene kjenner egenskapene som ligger til grunn, så kan de på en fornuftig måte differensiere ressursene anvendt til koordinering, inkludert organisatoriske tiltak. Går vi dypere inn i det, kan vi si at koordinering oppstår fra spesialisering og arbeidsdelingen som fremgår mellom arkitekt, ulike ingeniørdisipliner, og andre bransjer involvert i den moderne byggebransjen. Ulike relasjoner og maktforhold knyttet til ansvarene, rollene og kontraktstrategiene mellom oppdragsgiver, hovedentreprenøren, underentreprenører, leverandører, arkitekt og ingeniører er også involvert. Thompson belyser avhengigheter som underliggende faktorer for koordinasjon. Ulike typer avhengigheter krever forskjellige koordinasjonsmoduser. Thompson fokuserer i sine arbeider på intern gjensidig avhengighet i komplekse organisasjoner (Kalsaas & Sacks, 2011). Kalsaas og Sacks inkluderer, i tillegg til den gjensidige avhengigheten mellom aktiviteter i samme organisasjon, avhengighetene mellom ulike organisasjoner.

Thompson (2003) mener at dersom man skal kunne forstå organisasjonsstrukturer, så må man vurdere hva som menes med avhengighet (interdependence) og hva som menes med koordinering. Det må i tillegg også anses ulike typer av disse. Thompson foreslår tre typer interne avhengigheter (interdependece): «pooled», «sequential» og «reciprocal» (gjensidige) avhengigheter. Hans poeng er at ulike teknologier som er karakterisert av ulikheter i avhengighet, krever ulike ledelsesmål og koordineringsmetoder. Den tekniske delen av et organisasjonssystem er en stor retningsgiver for den sosiale strukturen. På grunn av at disse 3 nivåene av gjensidig avhengigheter, bør ulikheter i tekniske funksjoner korrespondere med ulikheter i ledelsesmessige og institusjonelle nivåer av en organisasjon. Derfor er teknologi viktig for å forstå handlingene til en kompleks organisasjon. Thompsons koordinasjonsteori bygger på analyse av teknologiske avhengigheter som er basis i ulike moduser av koordinering/samordning.

De tre ulike typer avhengigheter, ytterligere forklart:

- «Pooled interdependence» er den typen avhengighet som vi eksempelvis finner mellom et hovedkontor og de underliggende avdelingene som er plassert rundt om på ulike steder, der disse underliggende avdelingene kanskje ikke samhandler i det hele tatt. Likevel er de kanskje avhengige av hverandre i den forstand at dersom hver enkelt av dem ikke utfører tilstrekkelig godt nok arbeid, kan det sette hele organisasjonen på spill. Denne situasjonen kan beskrives som at en part yter et diskret bidrag til hele organisasjonen og hver enkelt har støtte i helheten.
- «Sequential interdependence» har man dersom A må handle før B kan handle, og dersom ikke B handler, så kan ikke A løse sitt problem. Likevel må vi merke oss at denne avhengigheten ikke er symmetrisk.
- I en situasjon der det som kommer ut av en produksjon («output») blir «input» for en annen produksjon, og vice versa, har man en resiprok (gjensidig) avhengighet (reciprocal interdependence). Under forhold der man har en slik type avhengighet, så er hver av enhetene som er involvert, gjennomsyret av de andre involverte. Flyselskaper, for eksempel, har både vedlikeholdsvirksomhet og driftsvirksomhet. Produksjonen i vedlikeholdsvirksomheten gjør at drift kan holde sin virksomhet gående, på samme måte er det drift driver med en forutsetning for at vedlikeholdsvirksomheten skal holdes i arbeid (ved å drive vedlikehold på flyene). Det er i tillegg et «pooled» aspekt ved dette, samt et sekvensielt aspekt, siden et fly brukes av en, så av en annen, og så igjen av den første. Men skillet ligger i den gjensidige avhengigheten som er, med at hver av de to virksomhetene skaper usikkerhet for hverandre.

Alle organisasjoner har «pooled interdependence», mer komplekse organisasjoner har i tillegg «sequential», mens alle de tre typene av avhengigheter inngår i de mest komplekse organisasjonene. De tre avhengighetstypene er i økende grad krevende å koordinere, fordi de inneholder økende grad av usikkerhet, noe som også betyr økende koordineringskostnader. I en situasjon der det er gjensidig avhengighet, er det koordinering som gir felles handlinger. Der hvor det eksisterer ulike typer avhengigheter, forventer man at det finnes ulike anordninger for å oppnå koordinasjon. Thompson snakker om tre ulike koordineringsformer koordinering ved standardisering, ved planlegging og ved gjensidig tilpasning. Koordinering ved standardisering involverer en etablering av rutiner eller regler som inneholder

handlingene til hver enhet eller som leder enhetenes handlinger inn i på veier som er i overenstemmelse med veivalgene som er tatt av andre i det gjensidige avhengighetsforholdet. Denne typen koordinering passer best dersom man har å gjøre med «pooled interdependence». Koordinering ved planlegging involverer etablering av planer for de gjensidig avhengige enhetene, som vil lede handlingene deres. Denne måten å koordinere på krever ikke samme grad av stabilitet og rutiner som kreves ved standardiseringskoordinering, og er derfor bedre egnet for mer dynamiske situasjoner (spesielt dersom organisasjonen er preget av varierte oppgaver). Denne typen koordinering passer best dersom man skal håndtere sekvensielle avhengigheter. Koordinering ved gjensidig tilpasning (eng.: mutual adjustment) innebærer overføring av ny informasjon under handlingsprosessen (Thompson, 2003). Aktørene må kontinuerlig tilpasse sitt arbeid til hverandres aktiviteter. Dette krever konstant kommunikasjon for å sikre at koordineringskrav (og forventninger) er klare og at aktiviteter utføres med minimal forvirring og maksimalt utbytte. Gjensidig tilpasning er den samme mekanismen som brukes når flere skal gå sammen om å flytte et møbel og må manøvrere seg gjennom et hus eller det kan illustreres med hvordan jazzmusikere får til å spille samspilt under et levende engasjement. Som et resultat, er gjensidig tilpasning den mest kostbare form for koordinering (Klein & Adelman, 2005). Desto mer uforutsigbar og gjenstand for variasjon situasjonen er, desto større er tiltroen til koordinering ved gjensidig tilpasning (Thompson, 2003). Gjensidig tilpasning er, ifølge Thompson, den beste måten å koordinere «reciprocal interdependence»(gjensidige avhengigheter) på.

De tre koordineringsformene, i den rekkefølgen de er presentert, er i økende grad avhengig av mer kommunikasjon og beslutningstaking. Standardisering krever sjeldnere beslutningstaking og mindre kommunisering enn ved planlegging. Gjensidig tilpasning er den koordinasjonsformen som krever flest beslutninger og mest kommunikasjon. Planleggingskoordineringen plasseres midt imellom (Thompson, 2003). Koordinering ved planlegging er assosiert med «long linked technology» og koordinering ved gjensidig tilpasning er assosiert med intensiv teknologi (Kalsaas & Sacks, 2011).

Thompsons koordinasjonsteori er etablert på grunnlag av analyser av teknologiske avhengigheter som er basis for ulike moduser av koordinasjon. En forståelse for de ulike typene avhengigheter vil bidra til å informere ledelsesavgjørelser med tanke på hvordan man kan dele arbeid mellom selskaper og aktører på en slik måte at man unngår de mest

kompliserte avgjørelsene, eller er forberedt på dem (Kalsaas & Sacks, 2011). Dette leder oss over på prosjektplanlegging. Planlegging og strukturering skal bidra til at man får bedre kontroll, effektiv integrasjon, koordinasjon og kommunikasjon. Hvordan ulike planleggingsmetodikker tilnærmer seg å håndtere kompleksiteten som eksisterer i prosjektsammenheng (prosjekteringsprosessen), vil derfor nå bli sett nærmere på.

6 PROSJEKTPLANLEGGING

Alle prosjekter av noe vesentlig størrelse, avhenger i stor grad av strukturering. Strukturering av prosjekter er både sentralt og kritisk for effektiv ledelse av prosjektet. Struktureringen kan deles i to deler: Strukturering bidrar med å forsikre at alt arbeid som trengs for å fullføre prosjektet er identifisert, definert og integrert, og at ingen oppgaver eller kostnader er utelatt. Dette klargjør og kommuniserer til alle deltakere, ansvaret til de ulike partene. (Harrison & Lock, 2004).

Prosjektledelse krever en logisk strukturert prosessekvens. Struktur er rett og slett den dominerende funksjonen, hva prosjektadministrasjon angår. Og særlig i planleggings- og kontrollfunksjonene er struktur viktig. Struktur og logikk bør være nøkkelord for enhver prosjektleder. Det er kun gjennom en systematisk, strukturert tilnærming at virkelige representative planer og budsjetter, kan skapes, som er fundamentet for kontroll. (Harrison & Lock, 2004). For å utøve ledelse som leder til en effektiv prosess, er planlegging viktig. Derfor vil det her nøyere utdypes hva prosjektplanlegging innebærer, hva som er utfordringene og viktigheten av involvering i planleggingen. Deretter tar kapittelet for seg ulike planleggingsverktøy, hva som er styrkene og svakhetene med dem.

6.1 Generelle krav

Når et prosjekt er i startfasen er det knapt med informasjon, og den kan til og med være upålitelig. En av de første oppgavene til en prosjektleder er dermed å fastsette hva prosjektet består i, for å etablere sine formål, og for å avgjøre hvordan prosjektet skal gjennomføres. Det kan hende man har behov for hjelp fra andre avdelinger i organisasjonen også. Videre må det settes opp hvem som har ansvar for de ulike elementene. Disse elementene må koordineres, og kommunikasjonskanaler og forhold må opprettes – det vil si: alle menneskene som er involvert i prosjektet må integreres. Dette er viktig for at organisasjonen skal fungere som en enhet, og ikke separate enheter. Det trengs spesielt pleie for å oppnå effektiv integrasjon, koordinasjon og kommunikasjon hvis det er flere bedrifter involvert i prosjektet. Arbeidet som skal gjøres bør bli sekvensert og planlagt slik at det kan gjennomføres på en logisk og praktisk måte

Prosjektplanleggingen er den mekanismen som består i at prosjektleder tar alle disse avgjørelsene, allokterer ressursene og gjennomfører de nevnte handlingene. Planleggingen bør

integre de mange ulike elementene og bedriftene som er involvert. Hvert prosjekt trenger mer eller mindre en unik planlegging, og effektiv prosjektplanlegging er avgjørende for suksess. (Harrison & Lock, 2004)

Det er også mange aspekter i prosjektplanlegging som henger sammen med menneskelige relasjoner. Planlegging bør alltid øke involveringen og deltakelsen av nøkkelgrupper og ledere som deltar i prosjektet. Dette er essensielt for deres forpliktelse til prosjektets mål og utførelse av prosjektplanene. Forpliktelser som inngår i forhold til planene gir effektivt prosjektleder makt til å håndheve dem. (Harrison & Lock, 2004)

6.2 Sårbarheten til planer

Det er sjelden eller aldri at alt går etter plan. Avvik fra plan og uforutsette hendelser kan oppstå så fort arbeidet er i gang. Produktivitet og ytelse vil noen ganger avvike fra planlagte antakelser. Mange endringer vil bli foretatt før prosjektet er ferdigstilt, der noen sannsynligvis til og med vil påvirke omfanget av prosjektet. Dette betyr ikke at de planene som blir lagt er unødvendige eller nytteløse. Planer er nødvendig, ikke bare for effektive innledende avgjørelser og effektive ressursallokeringer, men også for senere. Gjennom prosjektets levetid, bidrar planer til å hjelpe prosjektleder med å håndtere endringer i arbeidet og ressursbehovet, etter hvert som endringene skjer. Planer er svært sårbare og kan enkelt overkjøres av uventede hendelser som gjør dem unøyaktige eller egentlig villedende. Hvis planene skal benyttes til kontroll fra dag-til-dag, så må de hele tiden oppdateres, slik at de alltid reflekterer prosjektets sanne omfang og tilstand. For å oppnå dette må prosjektleder kunne ta avgjørelser raskt, og holde kontroll med fremdriften i prosjektet, og hvordan menneskene og bedriftene som er involvert yter. Videre må så prosjektleder fremheve problemområder og avvik fra planer, som måtte oppstå. Dette slik at han/hun vet hvordan å ta tak for å holde prosjektet på sporet mot målene. Alt dette avhenger av jevnlig innsamling og analyse av progresjonen, slik at det blir mulig å sammenligne den virkelige fremgangen. Avvik som på denne måten avdekkes, kan være viktige faktorer for å kunne ha kontroll over prosjektet. (Harrison & Lock, 2004)

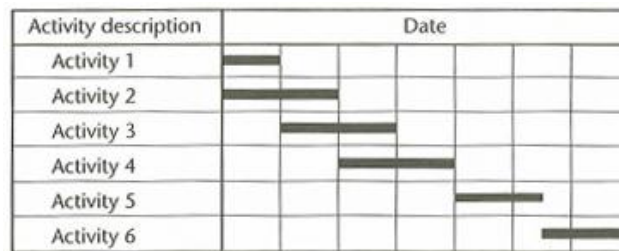
6.3 Planleggingsverktøy (Styrker og svakheter)

Teorien som til nå er skrevet rundt prosjektering og prosjekteringsledelse, understreker at byggprosjektering er en kompleks prosess som krever mye koordinering. Byggprosjektering har også mye gjensidige avhengigheter som må koordineres. Det at planleggings- og

styringsverktøyene som benyttes kan håndtere og vise avhengigheter vil for prosjekteringsleder være noe som kan gi stor nytte. Her vil noen av de mest kjente og benyttede planleggingsverktøyene presenteres, med deres styrker og svakheter.

6.3.1 Gantt

Harrison og Lock (2004) skriver om at prosjektplanlegging i siste del av det siste århundret har vært utført vha. søylediagrammer, enten på papir, eller konstruert på tavle. I dag blir diagrammene ofte kalt Gantt-diagrammer, etter stamfaren Henry Gantt. Diagrammene er visuelt veldig effektive og er enkle å lage uten å måtte ha noe spesiell opplæring. Dette er nok også grunnen til at de er så populære. Likevel har stolpediagrammet noen svakheter eller mangler; særlig dette at de ikke klart viser gjensidig avhengighet (iterasjoner) mellom aktiviteter (Harrison & Lock, 2004).



Figur 4 Illustrasjon, GANTT-diagram (Harrison & Lock, 2004)

Diagrammet (se Figur 4) har de enkelte aktiviteter langs den ene aksene, mens den andre aksene er en tidsakse. For hver aktivitet, angir en horisontal strek utstrekningen i tid, og dermed start og slutt. I noen tilfeller vises det også trekanter i diagrammet som angir milepæler. Det kan benyttes til fremdriftsoppfølging. Ved å trekke en vertikal linje som indikerer dags dato, fremgår tydelig hvilke aktiviteter som ligger foran, på eller bak planen (Rolstadås, 2006). I følge Jessen (2004) er ren GANTT-metode best egnet for små prosjekter med et begrenset antall veldefinerte aktiviteter. Hvis det blir for mange aktiviteter, kan det bli vanskelig eller umulig å benytte denne metoden alene, blant annet fordi det da blir vanskelig å følge opp og kontrollere, samt vanskelig å få oversikt. Videre er det også vanskelig å føye til endringer, og delaktiviteter blir vanskelig å splitte opp. Dersom man trenger verktøy som på en mer systematisk måte samordner flere typer ressurser i planleggingsfasen, er en nettverksmetode slik som Critical Path Method, bedre egnet (Jessen, 2001).

6.3.2 Critical path method (CPM)

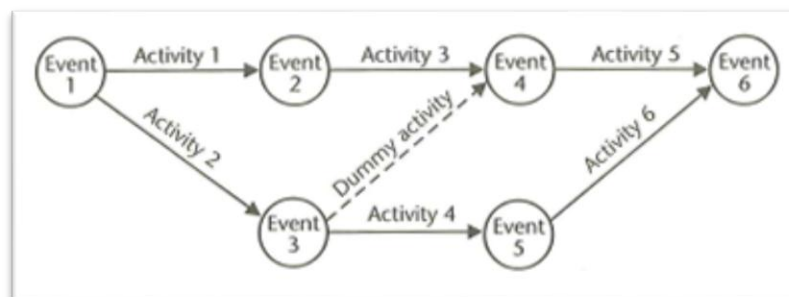
«Critical path method», eller metoden for å finne «kritisk linje», er et verktøy som eksisterer i ulike typer. Men ifølge Harrison og Lock, deler de alle noen av de samme egenskapene:

- Trenger ikke bli tegnet på en tidsskala, slik som eksempelvis Gantt.
- Viser aktiviteter eller oppgaver grafisk i logisk rekkefølge, fra venstre mot høyre.
- Det fremkommer hvorvidt aktiviteter er gjensidig avhengige av hverandre.
- Tidligste ferdigstillestidspunkt for hele prosjektet kan kalkuleres, samt tidligste/seneste start og tidligste/seneste slutt for hver aktivitet.
- Aktiviteters prioriteringer kan tallfestes, noe som er viktig når det må deles på knappe ressurser eller for å få ledelsen til å fokusere på prioriteringene.

CPM kalkulerer, ifølge Furniss & Trauner (2010):

- Mål på den lengste vei gjennom planen, definerer den tidligste datoen for når prosjektet kan avsluttes.
- Tidligste og seneste tidspunkt hver aktivitet kan starte og avsluttes uten å gjøre prosjektet lenger enn det som i utgangspunktet er definert som den lengste veien.

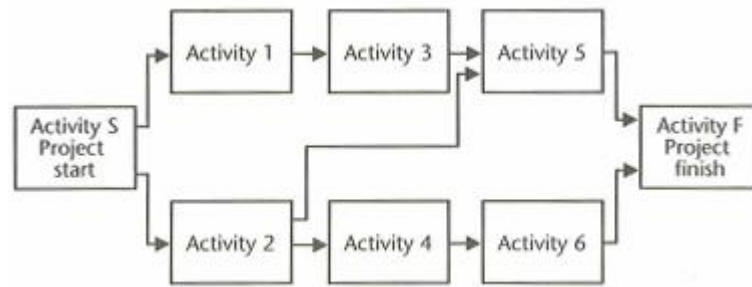
Alle typer kritiske nettverk faller ifølge Harrison & Lock (2004), inn under en av to kategorier som er «activity on arrow» (AOA), se Figur 5, og «activity on node» (AON), se Figur 6. AOA-nettverket benytter linjer (piler) til å representere aktivitetene. Knutepunktene blir følgelig hendelser (Rolstadås, 2006).



Figur 5 AOA (Critical path method) (Harrison & Lock, 2004)

I et AON-nettverk er aktivitetene representert på knutepunktene. Linjene angir rekkefølgerelasjonen mellom aktivitetene. Et AON-nettverk som tillater overlapping mellom

aktiviteter, defineres som «presedensnettverk».



Figur 6 AON (Critical path method) (Harrison & Lock, 2004)

Det er forventet at aktivitetene skal starte så tidlig som mulig for ikke å forsinke prosjektet som helhet (Tommelein, 2008).

6.3.3 PERT

PERT (Program Evaluation and Review Technique) er et verktøy som kan minne om CPM, men som skal ha innebygget en rekke forbedringer, blant annet dette med statistisk behandling av usikkerhet i tidsanslagene, og i tillegg, angivelse av aktivitetskostnader. PERT refereres ofte til som hendelsesorientert nettverksteknikk (Jessen, 2001). Ifølge Rolstadås (2006) tar PERT utgangspunkt i at variablene følger en statistisk fordeling med kjent forventningsverdi og varians. PERT gir m.a.o. mulighet for å ta hensyn til usikkerhet i tidsanslagene på aktivitetene.

6.3.4 Last Planner System (LPS)

Kalsaas og Sachs (2011) problematiserer bruken av «Critical Path Method» i byggproduksjon ved å antyde at metoden er utilstrekkelig hva gjelder å koordinere gjensidige avhengigheter (reciprocal interdependency). Koordinering er en sentral ledelsesoppgave. Innen Lean Construction utgjør Last Planner System (LPS) en nøkkelmetode hvor det primære er å koordinere ressurser og beslutninger for å oppnå forutsigbarhet i produksjonen, som er en forutsetning for å redusere sløsing gjennom redusert variasjon (Kalsaas & Sacks, 2011). Opprinnelig er LPS ment for selve utførelsesfasen på byggeplass, men kan la seg overføre til prosjekteringsfasen også (Webområde for Lean Construction Institute, 2012).

Jessen (2001) skriver om at prosjektplanlegging og styringsgraden må gå på «teft» ut fra tidligere erfaringer fra andre prosjekter. Videre påpeker han at det er derfor verdien av planleggingen i en organisasjon og et prosjekt ligger mer i ledelsens og medarbeidernes

deltakelse i planleggingsprosessen, enn i bruken av planleggingsresultatene. Det å delta i prosjektplanleggingen fremtvinger en systematisk formulering og vurdering av alternativer som ellers ikke ville blitt overveid. (Jessen, 2001). Last Planner System er en planleggingsmetodikk med formål om å sikre proaktiv styring der det er fokus på forutsigbarhet, involvering og fleksibilitet i planprosesser (Ballard H. G., 2000).

Som nevnt i kapittel 6.2 «Sårbarheten til planer», så viser det seg at det som planlegges, som regel ikke blir gjennomført etter planen. Årsaken kan være at det skjer uforutsette hendelser, det kan være pga. menneskets begrensede rasjonalitet, eller så har det en sammenheng med at det er vanskelig å koordinere komplekse prosjekter. Ifølge Ballard (2000) tar LPS høyde for at disse tingene kan skje, og er en metodikk hvor man ikke planlegger detaljert langt fram i tid. Detaljplanleggingen utføres så sent som mulig i prosessen (last responsible moment). Last Planner består av flere plannivåer. Hovedfremdriftsplan, faseplan, utkvikksplan og produksjonsplan. I tillegg benyttes måling av PPU (prosent planlagt utført). Ifølge (Kalsaas, Skaar, & Thorstensen, 2010) er utkvikksplanen her sentral, i forhold til å sikre forutsigbarhet, og er et viktig bindeledd mellom hovedfremdriftsplan/faseplan og produksjonsplaner for å forsyne produksjonen med sunne aktiviteter, dvs. aktiviteter hvor hindringer for gjennomførelse er fjernet. Planene lages i fellesskap, der tanken er at de som utfører arbeidet (produksjonsarbeiderne/ underentreprenører) har best forutsetning for å si noe om når arbeidet kan utføres, samt tidsforbruk. Aktivitetene blir planlagt bakover i tid fra en spesifikk milepæl (bakoverplanlegging). LPS kan forstås som en mekanisme for å transformere arbeid som BURDE gjøres, til arbeid som faktisk KAN gjøres, og som derav gir underlag for å lage ukeplaner med beholdning av arbeidsoppgaver der alt ligger til rette for at de skal kunne la seg gjennomføre. På denne måten sikres forutsigbar produksjon, endringer fanges opp, dvs. man oppnår fleksibilitet i planlagt produksjon. (Ballard H. G., 2000)

Kalsaas, Skaar og Thorstensen (2010) refererer til Last Planner som en åpen og inkluderende prosess i sin rapport, og fremholder at systematikken åpenbart vil fungere best i sammenhenger hvor aktørene satser på å være real og oppriktig når det gjelder informasjon og oppfyllelse av forpliktelser. Videre påpeker de noen fallgruver for totalentreprenøren i dette perspektivet, blant annet at åpenheten som LPS bærer med seg kan skape frykt for å skade noen av de tradisjonelle maktforholdene mellom partene. En annen fallgrube som påpekes, er gjennomskiktigheten i prosjektet som kan gi utfordringer rundt oppfattelsen av

underentreprenørene(UE) sine milepæler. Det kan være fristende for totalentreprenøren ikke å binde seg til UE-enes milepæler for å skape mest mulig fleksibilitet for seg selv. Er derimot kommunikasjonen tilstrekkelig åpen, blir milepælen «låst» på et tidspunkt som er fornuftig. Dette med hensyn på økonomiske konsekvenser for forandring, med hensyn til alle parter (Kalsaas, Skaar, & Thorstensen, 2010).

6.3.5 Vurdering av de ulike planleggingsverktøy mot prosjekteringen

Designaktiviteter er, i motsetning til byggeaktiviteter, i stor grad gjensidig avhengig. Det å finne en hensiktsmessig sekvens som reduserer omarbeiding er vanskelig. Planleggere med ansvar for design blir ifølge Choo m. fl. (2003) hemmet av nåværende prosjektplanleggingsverktøy, som alle er basert på kritisk linje metoden og følgelig kan ikke håndtere gjensidige avhengigheter.

Som en følge av at prosjekteringsprosessen er definert som en iterativ prosess som preges av gjensidig avhengigheter, er det nødvendig å benytte et planleggingsverktøy som kan håndtere disse avhengighetene på en god måte, som et ledd i å oppnå god ledelse og styring av prosjekteringen. Selv om det i alle designprosesser forekommer iterasjoner, så er det ifølge Pektaş og Pultar (2006) ikke etablert systematiske virkemidler for styring av iterasjoner i byggebransjen. De samme forfatterne påpeker videre at konvensjonelle planleggingsverktøy som GANTT, CPM og PERT er svake på å modellere tilbakeføring av informasjon (feedback) og iterasjoner i prosjekter, siden de bare tillater «en-veis» progressjon i aktivitetssekvenser. Dette støttes også av Yassine (2004), som mener disse verktøyene kun gjør modellering av sekvensielle og parallelle prosesser. Som en følge av dette, ble Design Structure Matrix utviklet. Design structure matrix (DSM) er en metode som muliggjør modellering av «feedback» og iterasjoner ved å optimalisere sekvenser av design-avgjørelser i henhold til deres avhengighetsstruktur. Videre fokuserer verktøyet på informasjonsflyt og ikke arbeidsflyt som det vanligvis fokuseres på i planleggingsverktøy. Dette var noen av de mange grunner til at DSM viste seg som interessant å undersøke nærmere. Utdypende informasjon om verktøyet blir derfor presentert i neste kapittel. Når det gjelder LPS sine evner til å håndtere gjensidige avhengigheter, så løser metoden til dels, koordineringsutfordringer, gjennom sin møttestruktur, som legger til rette for gjensidig tilpasning. Derimot, er det rimelig å anta at LPS isolert sett ikke er tilstrekkelig for å løse de gjensidige avhengighetene som forekommer i en prosjekteringsprosess. Imidlertid er det usikkert hvor godt DSM håndterer variasjon og utforutsigbarhet, noe LPS tar høyde for.

7 DESIGN STRUCTURE MATRIX

7.1 Generelt om Design Structure Matrix

Design Structure Matrix⁵ (DSM) har sine røtter på 60-tallet. Donald Stewart var mannen som for første gang brukte termen Design Structure Matrix og som prøvde ut modellen på designprosesser og produktutvikling. Utover 90-tallet fikk metoden mer og mer kredibilitet og er benyttet i flere store forskningsprosjekt ved Massachusetts Institute of Technology. (DSMweb.org, 2012)

En DSM er en kvadratisk matrise som betyr at den har et likt antall rader og kolonner som viser relasjoner mellom elementene i et system eller en prosess (DSMweb.org, 2012). Et eksempel på en DSM kan ses av Figur 8. Filosofien bak DSM metoden er at et prosjekt kan deles inn eller brytes ned til individuelle oppgaver, og avhengighetene mellom disse oppgavene kan bli analysert for å identifisere den underliggende strukturen til prosjektet. Det har blitt foreslått at det å studere avhengighetene og relasjonene mellom individuelle designoppgaver kan forbedre den totale designprosessen (Eppinger & Smith, 1997).

DSM metodikken vil bli nærmere gjennomgått i kapittel 7.4. Her vil det bli tatt for seg hvordan en matrise tolkes (avleses), og de ulike teknikkene som benyttes i analysen vil bli presentert.

7.2 Design Structure Matrix i byggebransjen

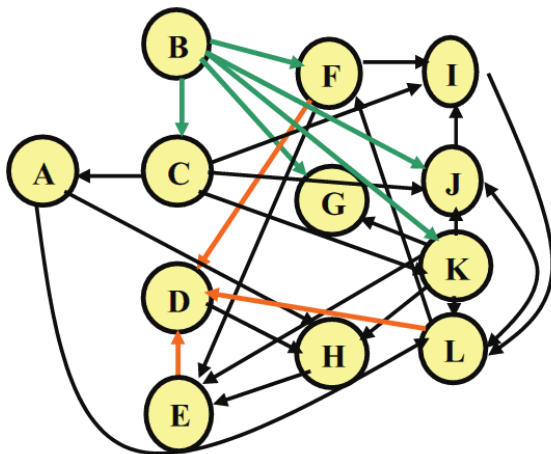
Kompleksitet er et vanlig hinder for de fleste teknologiske bedrifter. Ledelse av komplekse systemer er derfor en kjernekompetanse som er viktig for å oppnå suksess i enhver bedrift (DSMweb.org, 2012). Den økende kompleksiteten i bygninger, samt den økende konkurransen i markedet har lagt press på prosjektledere og prosjekteringsledere til å forbedre prosessene sine med hensyn på tid og kostnad. Til tross for dette har det ikke vært vanlig å utføre systematisk planlegging av prosjekteringsprosessen.

Som tidligere nevnt, er byggprosjektering (building design) karakterisert ved iterasjoner (rework) og høy grad av informasjonsutveksling. Pektaş og Pultar (2006) beskriver

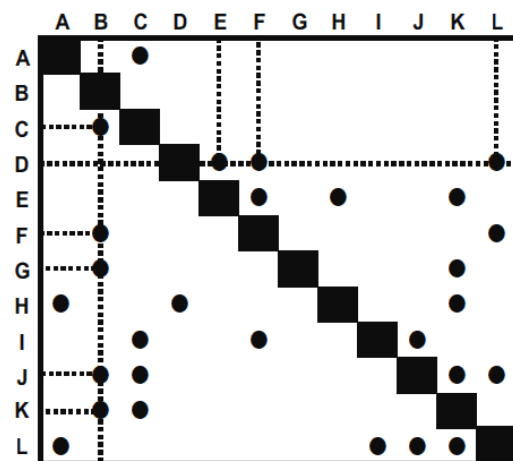
⁵ Også kjent som The Dependency Structure Matrix, The Problem Solving Matrix (PSM) eller Design Precedence Matrix

prosjekteringsprosessen som en iterativ flyt av gjensidig avhengige beslutninger tatt av ulike fagdisipliner. Ifølge Pektaş og Pultar (2006) er det nødvendig å planlegge flyten av tverrfaglig informasjon, for å få til et effektivt designsamarbeid. Det er imidlertid gjort lite forskning på å forstå og manipulere disse informasjonsstrømmene, til tross for den intense informasjonsflyten som eksisterer mellom fagdisipliner. De fleste planleggingsverktøyene som finnes i dag i byggebransjen er ikke i stand til å analysere den iterative informasjonsflyten (Pektaş & Pultar, 2006).

Design Structure Matrix skiller seg fra tradisjonelle metoder som CPM, GANTT og PERT, fordi den fokuserer på informasjonsflyt i motsetning til arbeidsflyt (Yassine, 2004). De tradisjonelle metoder som det refereres til, mangler også teknikker for å håndtere feedback og iterasjoner. DSM som et verktøy gir muligheten for å kartlegge avhengighetsforhold mellom enheter i systemet (f.eks. delkomponenter, team eller aktiviteter), og i tillegg utlede forslag til forbedringer for systemet (DSMweb.org, 2012). En av årsakene til at mange modeller feiler når det kommer til å representere designprosesser, er ifølge Pektaş og Pultar (2006) på grunn kompleksiteten og at det blir for innviklet fremstilt når aktivitetene blir mange. Grafiske metoder (nettverk) gir ofte et flokete bilde, der avhengighetene ofte ser ut som et garnnøste. DSM metoden derimot, fungerer bra på dette området, og gir et kompakt, ryddig og visuelt og analytisk bilde av komplekse systemer. Dette kan ses i Figur 7 og Figur 8.



Figur 7 Aktiviteter representert i et tradisjonelt nettverk (Yassine, 2004).



Figur 8 Aktiviteter representert i en Design Structure Matrix (Yassine, 2004).

Modellering av designprosesser har som mål å fange kompleksiteten i designprosesser og optimalisere. Denne typen kartlegging baserer seg på premisset om at, selv om enhver

designprosess muligens er unike i hvert prosjekt, så finnes det en underliggende struktur som ikke varierer veldig fra et prosjekt til et annet (Pektaş & Pultar, 2006).

Design Structure Matrix er en metode som er anvendt i flere bransjer der designutvikling står sentralt, blant annet i bilindustrien. På 90-tallet fikk flere i byggebransjen øynene opp for DSM-metodikken og muligheten for at denne kunne anvendes i byggprosjektering.

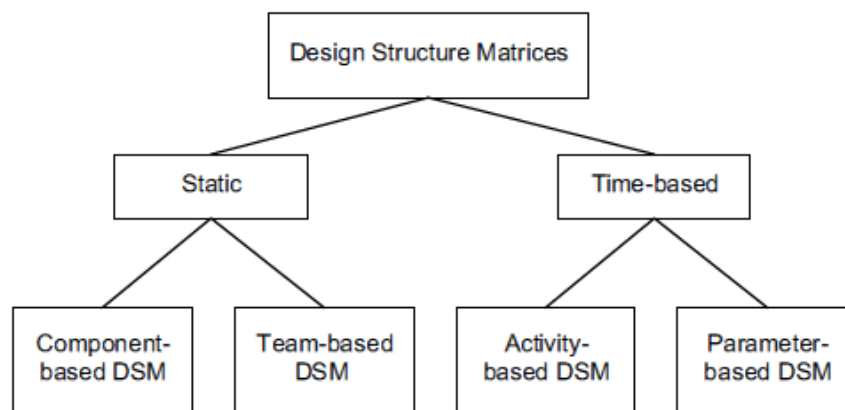
Anvendelse av metoden i byggebransjen er begrenset (Austin, Baldwin, & Waskett, 2000). Fram til år 2000 var anvendelse av DSM begrenset til forskningsprosjekter ved VTT i Finland og ved Loughborough University. DSM ble her anvendt på noen mindre designproblem. I følge Senthilkuma & Varghese (2009, s. 1) er metoden enda ikke utbredt i særlig grad byggebransjen: «*However, there is no widespread application in the industry*».

Ved Loughborough University ble det konkludert med at DSM var en hensiktsmessig metode som kunne belyse hvilke områder i prosjekteringsarbeidet hvor iterasjoner forekommer. I slike områder ved designet er det mange gjensidige avhengigheter som krever høyere koordinering gjennom gjensidig tilpasning og flere gjennomganger av designet for å komme videre. Huovila m. fl. (1995) ved VTT i Finland, anvendte DSM-metoden på et designproblem som innebar 30 designaktiviteter der målet var å teste muligheten for å løse designproblemer. Konklusjonen var at DSM kunne være en effektiv teknikk i byggprosjektering for å identifisere bedre sekvens på designaktiviteter.

7.3 Ulike typer DSM

Det finnes ingen generell eller forhåndsdefinert DSM som kan benyttes direkte på et system eller problemområde som er ønskelig å analysere. En DSM må være tilpasset de systemelementer og relasjoner som råder i systemet som er fokus. De ulike systemelementene og avhengighetene må defineres så presist som mulig for å oppnå den faktiske informasjonsstrukturen for det aktuelle problemet. (DSM.org)

Det finnes to hovedtyper DSM; statisk og tidsbasert. Innenfor disse to hovedtypene er det identifisert fire forskjellige typer DSM (Browning T. R., 2001). Dette vises av Figur 9:



Figur 9 Ulike DSM typer ((Pektaş & Pultar, 2006))

Tabell 1 viser en oversikt over de ulike typene DSM. Den oppgir hva de vanligvis anvendes til, og hvilke teknikker som benyttes for å analysere de ulike matrisene. De ulike typene er veldig likt bygd opp ved at avhengighetene mellom systemelementene kartlegges, men det som skiller dem er mer hvordan de tolkes og algoritmene som benyttes for analyse dem.

Komponentbasert DSM benyttes for å representere relasjoner mellom komponenter og delsystemer, mens teambasert DSM brukes for modellering av organisasjonsstrukturer basert på personer og/eller team og deres interaksjoner. Aktivitetsbasert DSM brukes for modellering av prosesser, basert på aktiviteter og informasjonsflyt dem imellom. Parameterbasert DSM (Low-level DSM) blir brukt for å fremstille avhengigheter og relasjoner mellom elementer som er brutt ned på detaljnivå, f.eks. mellom designbeslutninger og parametere.

I tidsbasert DSM indikerer rekkefølgen på aktivitetene (i radene og kolonnene) flyten gjennom tid, der oppstrøms aktiviteter til en prosess kommer før nedstrømsaktiviteter, og uttrykk som «feedforward⁶» og «feedback⁷» blir meningsfulle (Pektaş & Pultar, 2006). Denne oppgaven vil i hovedsak ta for seg teori rundt tidsbaserte DSM.

⁶ «Feedforward» betyr en mating av informasjon til fremtidige aktiviteter.

⁷ «Feedback» betyr at det foregår en tilbakeføring av informasjon til en tidligere aktivitet.

Statiske DSM blir vanligvis analysert ved å benytte algoritmer som foretar «clustering⁸», mens tidsbaserte DSM-er vanligvis blir analysert ved å benytte algoritmer som sorterer systemelementene (aktivitetene) sekvensielt.

| | Type DSM | Representasjon | Applikasjon/ anvendelse | Analyse |
|-------------|--|--|--|------------|
| Statiske | Komponent-basert DSM (eng: Component-Based) | Relasjoner mellom komponent/delkomponenter i et system eller produkt | Systemarkitektur, design | Clustering |
| | Team-basert (eng: Team-based or Organization DSM) | Relasjoner og avhengigheter mellom team i en organisasjon | Organisasjonsstruktur, grensesnitt, teamintegrasjon | |
| Tidsbaserte | Aktivitet-basert DSM (eng: Activity Based or Task-Based) | Avhengigheter mellom oppgaver og aktiviteter i en prosess (input- og output-avhengigheter). | Fremdriftsplanlegging, aktivitets sekvensering, prosessforbedringer, ledelse av iterasjoner, ledelse av informasjonsflyt | Sequencing |
| | Paramter-basert (eng: Parameter-Based or Low-level DSM) | Parametere for å bestemme design og avhengighetene mellom parameterene. | Benyttes på aktiviteter på detaljnivå (low-level activities), sekvensering av designbeslutninger. | |

Tabell 1 Ulike typer DSM. Kilde Browning (2001), DSMweb.org (2012)

7.4 Innføring i DSM

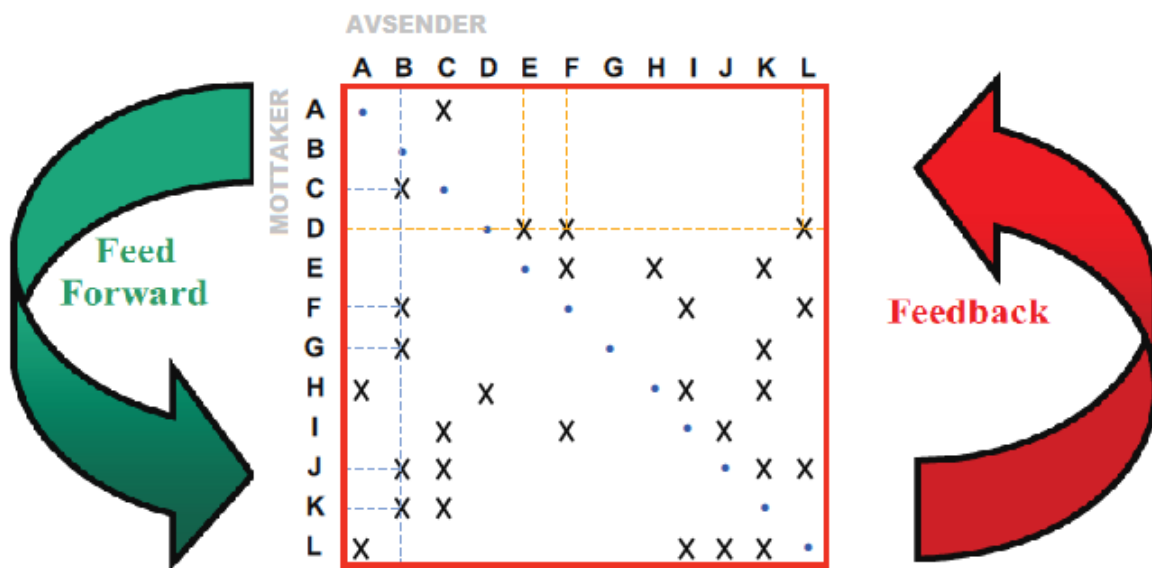
Hensikten med dette kapittelet er å gi en grunnleggende innføring i hvordan man avleser/tolker en Design Structure Matrix. Videre blir det presentert ulike teknikker for å analysere en DSM.

Visuelt er Design Structure Matrix en kvadratisk matrise med et N antall systemelementer (systemenheter) listet opp i rad og kolonne. Med systemelementer menes f.eks. komponenter, team, oppgaver, parametere eller aktiviteter, alt avhengig av hva slags system man skal analysere. Videre er DSM en metode som gjør det mulig å fremstille avhengigheter mellom komplekse aktiviteter (systemelementer), for så å bestemme en optimal sekvens/gruppering for system-elementene, dvs. aktivitetene som modelleres. Avhengigheter kan markeres på ulike måter i DSM-litteraturen. Som oftest markeres de med et kryss eller en prikk (X eller •).

⁸ Clustering er, kort fortalt, å dele inn elementene i blokker eller moduler for å kunne identifisere forbedrede lagformasjoner eller produktoppbygning. (DSMweb.org, 2012)

Enkelte forfattere benytter også tallverdier for å differensiere styrken på de ulike avhengighetene. Dette gjør matrisen ganske mer omfattende. I denne oppgaven vil det kun bli brukt kryss eller prikker for å illustrere avhengigheter.

Figur 10 tar for seg et eksempel på en DSM som viser 12 forskjellige oppgaver eller aktiviteter. Oppgavene har samme sekvens både i rad- og kolonneoverskriften. Dersom det er en tidsbasert DSM, vil denne sekvensen antyde når hver aktivitet påbegynnes, altså A utføres før B, B utføres før C osv (Austin, Baldwin, & Waskett, 2000).



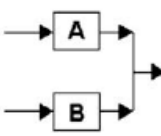

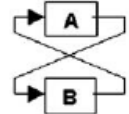
Figur 10 Avlesning av en matrise. Feedback er representert på oversiden av diagonalen

Verdt å merke seg med matrisen er at det er lettere å fange opp informasjonsflyt enn arbeidsflyt i matrisen (Yassine, 2004). Et annet moment er at systemelementene ikke sender eller mottar informasjon til seg selv. Skjæringspunktene mellom A og A, B og B osv., utgjør en blå diagonal som skiller matrisen i en øvre og nedre triangel. Det er ønskelig å redusere antall kryss over diagonalen (altså kryss i øvre triangel) så langt det er mulig. Et annet moment som er verdt å legge merke til, er at diagonalen kan betraktes som en tidslinje.

Kryssene representerer avhengigheter mellom aktivitetene i tilhørende rad og kolonne, og forteller oss hvilken type avhengighet som er mellom dem. Det er beskrevet tre typer avhengigheter mellom systemelementene i en DSM, se Figur 11 (Pektaş & Pultar, 2006):

- **Parallelle (eng: concurrent)**
- **Sekvensielle (eng: sequential)**

- Resiproke (gjensidig) avhengigheter (eng: coupled, reciprocal)

| Three Configurations that Characterize a System | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|---|--|---|--|---|---|--|---|---|---|---|--|---|---|---|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Relationship | Parallel | Sequential | Coupled | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Graph Representation |  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DSM Representation | <table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>■</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td>■</td></tr> </table> | | A | B | A | ■ | | B | | ■ | <table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>■</td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td>■</td></tr> </table> | | A | B | A | ■ | | B | X | ■ | <table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>■</td><td>X</td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td>■</td></tr> </table> | | A | B | A | ■ | X | B | X | ■ |
| | A | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | X | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | ■ | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | X | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figur 11 Tre type avhengigheter (Pektaş & Pultar, 2006)

Parallele aktiviteter innvirker ikke på hverandre og er uavhengige aktiviteter. Eksempelvis, aktivitet B er uavhengig av A og ingen informasjonsutveksling er nødvendig mellom dem for at de skal utføres. Sekvensielle elementer har man når et element påvirker adferden og beslutninger til et annet element – altså en enveis avhengighet. Eksempel på dette er når designkriteriene til aktivitet B er valgt på basis av designkriteriene til aktivitet A. Dette betyr at aktivitet A må fullføres før B kan starte.

De gjensidig avhengige (coupled) aktivitetene er de som utgjør kompleksiteten i designprosesser. Disse er preget av to-veis interaksjon, dvs. de er gjensidig avhengig av hverandres output og det kreves ofte stor grad av informasjonsutveksling og koordinering gjennom gjensidig tilpasning for å fullføre aktivitetene, jamfør Thompson (2003). Pektaş og Pultar (2006) presiserer at slike aktiviteter er mer tidkrevende og flere iterasjoner er ofte nødvendig for å ferdigstille dem.

Prinsippet for å tolke (lese av) avhengighetene til en aktivitet i en DSM, kan ses ut fra Figur 10. For å tolke en matrise må man først vite hvordan den er definert, dvs. om det er rad eller kolonne som er definert som mottaker av input og avsender av output. Litteraturen veksler ofte mellom dette, og det kan være ganske forvirrende. Systemelementene som står oppført vertikalt, er i dette tilfellet mottaker (avhengig) av informasjon. Motsatt er de horisontale systemelementene avsender. Det vil si at hvert kryss "X" som er oppført langs en rad, tilhørende et vertikalt systemelement, representerer de systemelementene (listet horisontalt)

som må bidra med informasjon for ferdigstille dette systemelementet (aktiviteten). For å ta noen eksempler, kan man lese følgende ut fra matrisen:

- Oppgave D er avhengig av (mottar) informasjon fra aktivitet E, F og L.
- Oppgave B gir informasjon til oppgave C, F, G, J og K.

Dersom rekkefølgen av aktiviteter som er satt opp, avbilder en tidssekvens (tidsbasert DSM), så vil:

- Et kryss under diagonalen (på venstre side av diagonalen) indikere at en aktivitet er avhengig av informasjon fra foregående aktivitet, dvs. at informasjonen allerede er tilgjengelig. Dette blir noen ganger kalt feed-forward kryss, fordi den foregående aktivitet mater neste aktivitet med input. En matrise som bare inneholder feed-forward kryss ville representert en ren sekvensiell aktivitetsrekkefølge, og ville ikke vært kompleks.
- Et kryss over diagonalen (på høyre side) representerer informasjon som ikke er tilgjengelig på det tidspunktet når en aktivitet skal starte. Slike kryss er problematiske, og årsaken til kompleksiteten i designprosesser, og indikerer iterasjoner. Utilgjengelig informasjon kan f.eks bli estimert for at aktiviteten skal ha videre progresjon. Alle slike kryss over diagonalen kalles ofte feedback-kryss fordi denne manglende informasjonen blir senere matet tilbake til aktiviteten, for å kryssjekke estimatene som er gjort.

Dette kan illustreres med eksempler nevnt ovenfor (Eppinger S. D., 2007):

Den blå stiplede linjen i Figur 10 viser at aktivitet B mater informasjon til de fem aktivitetene C, F, G, J og K. Dette indikerer at de fem sistnevnte aktivitetene er avhengig av informasjon fra aktivitet B for å bli fullført. Siden aktivitet B er ferdig før de andre aktivitetene starter, er også outputen fra B tilgjengelig.

I rad D er det tre kryss («X») som treffer krysningspunktene til kolonnene E, F og L. Dette kan ses av den gule stiplede linjen i Figur 10. Legg merke til at kryssene ligger over diagonalen i dette tilfellet, som betyr at de utføres senere enn D. Med andre ord, dersom aktivitet D skal bli ferdigstilt, avhenger denne av at aktivitet E, F og L overfører informasjon. Problemet er at E, F og L enda ikke er utført, som igjen betyr at informasjonen ikke er produsert når D starter. Derfor skulle man optimalt ønsket at disse aktivitetene ble utført før D. Dette problemet løses ofte ved å foreta noen antakelser eller estimater om den informasjonen som ikke enda er tilgjengelig, for så å verifisere estimatet når informasjonen har blitt prøvd ut. Det er mulig at aktiviteten som er avhengig av den estimerte informasjonen

må omgjøres dersom det opprinnelige estimatet ikke var tilstrekkelig. Dette resulterer da i en iterativ sløyfe («loop») mellom designaktivitetene (Austin, Baldwin, & Waskett, 2000). En annen tilnærming kan være å prosjektere for «worst case scenario» og ta ut nødvendig sikkerhet. Dersom «worst-case scenario» løsningen velges kan dette resultere i en unødvendig stor sikkerhetsfaktor. Dette innebærer store kostnader, og vil ofte assosieres med sløsing (Choo, Hammond, Tommelein, Ballard, & Austin, 2003)

Å repetere aktivitetene mer en gang resulterer i at enhver prosess blir ineffektiv. Det er ønskelig å redusere behovet for estimater, og derav iterasjoner i designprosessen. Dette kan oppnås ved å restrukturere aktivitetene i matrisen slik at kryssene kommer under diagonalen eller så nærme som overhodet mulig, slik at man kan oppnå en optimal sekvens på aktivitetene, noe som er svært vanskelig å få til ved å bruke vanlige nettverksanalyser. Prosessen med å restrukturere matrisen blir i DSM-terminologien kalt for partisjonering (Austin, Baldwin, & Waskett, 2000). Det er viktig å merke seg at en mer optimal⁹ sekvens vil ha et lavere antall kryss "x" ovenfor den diagonale linjen.

7.5 Analyse av DSM

Partisjonering betyr restrukturering (evt. omorganisering) i konteksten av DSM-metodikken. Partisjonering av en DSM er et verktøy for å omorganisere radene og kolonnene slik at matrisen inneholder minimalt med feedback-kryss, det vil si at samtlige avhengigheter (kryss) over diagonalen fjernes eller hvert fall reduseres så langt det lar seg gjøre (Austin, Baldwin, & Waskett, 2000).

Som tidligere nevnt, et kryss over diagonalen i matrisen indikerer det at en aktivitet gir feedback til en tidligere utført aktivitet. Dette kan skyldes at man har satt opp en dårlig rekkefølge på aktivitetene (dermed får man unaturlige iterasjoner), eller så kan det representere en naturlig iterasjon («loop») i designprosessen. Ved hjelp av visse algoritmer (kalt partisjoneringsalgoritmer), kan aktivitetene i matrisen bli restrukturert slik at bare kryss som faktisk tilhører naturlige iterasjoner («looper»), blir igjen over diagonalen. Slike kryss utgjør såkalte «blokker». En matrise som kun står igjen med kun naturlige feedback-kryss, representerer den optimale rekkefølgen av aktiviteter (Koskela, Ballard, & Tanhuanpää, 1997).

⁹ Optimal sekvens i denne konteksten betyr at man tilstreber å redusere iterasjonene (omarbeid) så langt det er mulig.

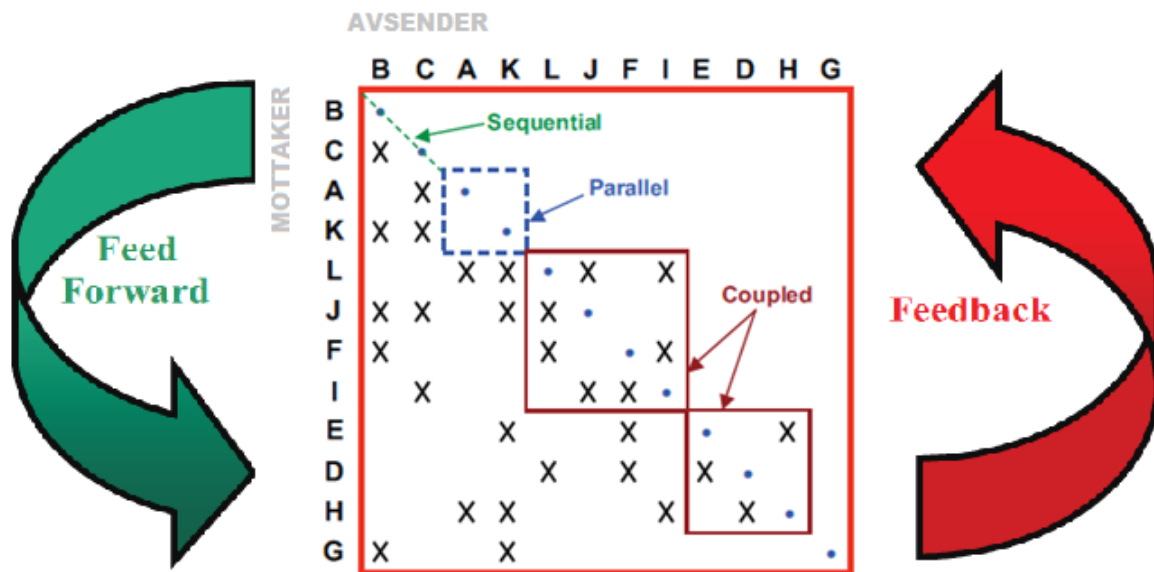
Formålet med å partisjonere matrisen er (Yassine, 2004):

- Å maksimere tilgjengeligheten av informasjon som er nødvendig for å utføre en aktivitet
- Å minimere mengden av iterasjoner og størrelsen på eventuelle iterative løkker i prosessen.

Et tilfelle der alle kryssene i matrisen ligger under diagonalen (sub-diagonal matrise), betyr at alle oppgavene kan utføres sekvensielt med all informasjon tilgjengelig. En slik sekvens kan både inneholde oppgaver som må utføres i serier (sekvensielt) og parallelt. En sekvensiell prosess kan like godt fremstilles i tradisjonelle prosjektstyringsverktøy som f.eks. CPM med vanlige slutt-til-start koblinger. For veldig kompliserte designprosjekter er det veldig lite sannsynlig at man klarer å oppnå at alle kryssene ligger under diagonalen (nettopp fordi design er komplisert og iterasjoner er en del av dets natur). Derfor bør fokuset til den som analyserer matrisen være å flytte feedback-kryssene (X'ene) så nærme diagonalen som mulig. Ifølge Yassine (2004), oppnår man ved å gjøre dette, en raskere utviklingsprosess fordi færre aktiviteter vil bli involvert i iterasjonssyklusen. Siden det som regel alltid forblir noen feedback-kryss igjen på oversiden av diagonalen, resulterer dette ofte i en matrise med blokker (kvadrater) som inneholder gjensidig avhengige aktiviteter.

Figur 12 viser de 12 aktivitetene, etter at de har blitt partisjonert (restrukturert) for å oppnå en mer optimalisert sekvens. Dette er gjort ved en hensiktsmessig omflytting av rader og da automatisk også de tilhørende kolonner. Antallet kryss "x" over den diagonale linjen er her sunket fra 15 til 4. Følgelig er antall designiterasjoner sannsynligvis redusert, dvs. muligheten for repetisjonsarbeid er vesentlig mindre.

Den partisjonerte matrisen er ikke unik (selve utfallet av stokkingen), dvs. formen på den avhenger av hvilken algoritme som benyttes for å restrukturere aktivitetene. Flere ulike metoder for å identifisere «blokker» er tilgjengelig. Partisjonering kan utføres gjennom å bruke en teknikk kalt «path searching» eller gjennom bruk av matematiske algoritmer, f.eks. Boolean Algebra osv. (Austin, 2000). Denne oppgaven kommer ikke til å omtale disse metodene nærmere.



Figur 12 Partisjonert matrise

Når partisjoneringsprosessen har ordnet aktivitetene i en ny start-sekvens kan identifisering av de ulike avhengighetene starte. Den nye rekkefølgen av aktiviteter er nå kan ses på Figur 12: B-C-A-K-L-J-F-I-E-D-H-G. Ut fra dette kan vi lese følgende informasjon:

- Oppgave C er avhengig av output fra oppgave B som kan tolkes ut fra krysset i rad C, kolonne B. Disse oppgavene må derfor utføres i sekvens, der B avsluttes før C kan starte.
- Oppgave A og K kan utføres parallelt (samtidig), siden oppgave K ikke er avhengig av noen andre oppgaver for selv å bli utført.
- To kvadratiske «blokker» som innrammer oppgave-sekvensene L-J-F-I og E-D-H identifiserer to tilfeller med gjensidig avhengige oppgaver. Slike «blokker» innebærer en del kompleksitet, som følger av feedback-kryss. Vi refererer til kryssene over diagonalen som «feedback», siden disse representerer at etterfølgende aktiviteter må forsørge tidligere utførte aktiviteter med input. Dette aspektet er det mest utfordrende med designprosjekter. Slike «blokker» må utføres samtidig, og informasjonsflyten som kreves for å få aktivitets-blokkene utført, er sterk to-veis utveksling av informasjon, som ofte resulterer i iterasjoner og forhandlinger mellom aktørene. Et annet begrep som brukes i stedet for blokker er iterative «looper».

Dersom det ikke lar seg gjøre å fjerne alle feedback-kryssene, og dermed oppnå en nedre triangel-form, noe som oftest ikke er mulig, er neste steg å prøve å minimere antall feedback-kryss, og dermed antall «blokker» og størrelse på disse (Eppinger S. D., 2007).

Ved partisjonering av en matrise vil alle aktivitetene, bortsett fra de som ikke inngår i iterative «looper», bli sortert sekvensielt. Aktiviteter som inngår i iterative «looper» vil indikeres i matrisen, men vil ikke bli sekvensert. Siden «blokkene» bestående av gjensidige avhengigheter representerer designiterasjoner, er det også svært viktig at man velger en optimal sekvens på aktivitetene innad i en «blokk» (Eppinger S. D., 2007). Problemet er at i slike «blokker» (iterative «looper») inngår aktiviteter som er sterkt sammenhengende og som alle er gjensidig avhengig av hverandres output for å starte og/eller fullføres. Det betyr at alle inngående aktiviteter i en «loop» kan potensielt være den første til å starte for å få ferdigstilt den iterative «loopen» av aktiviteter. Her eksisterer det såkalte «høna og egget»-problemet: Hva kommer først? Det er ønskelig at alle aktivitetene som inngår i en «loop» blir omstrukturert slik at antall estimer/antagelser blir redusert. Dette bygger opp til neste steg i optimaliseringen av matrisen, som kalles «tearing» (Austin, 2000).

Tearing (norsk: riving) av en loop betyr å redusere størrelsen på iterasjonen ved å minimalisere feedback-sløyfer og identifisere estimer som kan bli gjort med sikkerhet, og som følger av dette ikke trenger å bli gjentatt som en del av en iterativ prosess. (Austin, 2000). Steward kalte prosessen «tearing» fordi det å anta ukjent informasjon er samsvarende med å «rive» et element i matrisen for å få iterasjonsprosessen i gang. En tilnærming for å løse dette problemet er å gjøre kvalifiserte gjetninger (antagelser) om den manglende informasjonen. Dersom slike gjetninger foretas, må man gå tilbake til denne aktiviteten senere for å kontrollere at forutsetningene var riktige. Dersom ikke forutsetningene stemte, må aktiviteten repeteres og gjennomføres på ny med den nye informasjon som er tilgjengelig på det tidspunktet. Et eksempel på en slik antagelse kan være at arkitekten antar at 200 mm med isolasjon i ytterveggen er tilstrekkelig basert på tidligere erfaring. På den måten slipper han å vente på informasjon fra andre aktører for å tegne ferdig tegningen.

For the coupled ones, upfront planning is necessary. For example, we would be able to develop an iteration plan by determining what tasks should start the iteration process based on an initial guess or estimate of a missing piece of information (Yassine, 2004, s. 5).

For å håndtere disse gjensidige avhengighetene (resiproke) kan det være hensiktsmessig å lage en iterasjonsplan for å bestemme hvilke aktiviteter som skal starte iterasjonsprosessen. Yassine (2004) forslår at blokken E-D-H kan utføres på følgende måte:

1. Oppgave E starter ved et estimat eller en antagelse om H's output.
2. E's output blir deretter sent til oppgave D, for så at D's output blir sendt til oppgave H.
3. Til slutt blir H's output sendt til oppgave E. På dette tidspunktet foretar man en kryssjekk, og den ansvarlige aktøren for oppgave E sammenligner H's output mot den estimerte eller antatte informasjonen.
4. Så foretar man en avgjørelse på om flere iterasjoner er nødvendig eller ikke, avhengig av hvor mye estimatet avviker fra den siste mottatte informasjonen fra H.

7.6 Etablering av en Design Structure Matrix

Hensikten med dette kapitlet er å gi en generell innføring i hvordan man kan gå frem for å etablere en DSM. En generell fremgangsmetode for å analysere et system eller prosess ved DSM, kan deles inn i tre steg ifølge Browning (2001) og Yassine (2004):

- Identifisere systemelementer¹⁰ ved å bryte ned systemet eller prosessen som skal analyseres i systemenheter.
- Kartlegge informasjonsflyten og avhengighetene mellom systemenhetene.
- Når dette er gjort, er neste steg å analysere sekvenseringen av aktivitetene og oppnå en mest mulig feed-forward prosessflyt.

For å lykkes med Design Structure Matrix er det viktig å studere prosessen nøye for så å bryte ned systemet eller prosessen man vil kartlegge i velvalgte og hensiktsmessige systemelementer, samt få avhengighetsforholdene så riktige som mulig (Yassine, 2004, s. 6):

“The success of the DSM method is determined by appropriate system decomposition and by the accuracy of the dependence relationships collected. Therefore, it is vital to carefully decompose the system under study into meaningful system elements (i.e. subsystems or modules).”

7.6.1 Identifisere systemelementer

Det første man må gjøre er å avklare eventuelle avgrensninger for prosessen som skal analyseres. Deretter står identifisering av systemelementene for tur. En hensiktsmessig dekomponering av systemet kan utføres ved å benytte to fremgangsmåter:

¹⁰ Systemenheter er en generell betegnelse for de elementene som står oppført i radene og kolonnene i en DSM, f.eks kan det være oppgaver eller aktiviteter i en prosess. Dette avhenger av systemet som skal analyseres.

- Konvertere eksisterende informasjon, blant annet designdokumenter (modeller, tegninger) prosesskart og fremdriftsplaner.
- Strukturerte intervjuer med de prosjekterende (eksperter og rådgivere innen de ulike fagene).

Yassine (2004) anbefaler så en kombinasjon av disse to fremgangsmåtene, og der man lager et utkast til en DSM ved å benytte de tilgjengelige designdokumentene som foreligger i prosjektet, for deretter å kjøre en runde med intervjuer med de ulike ekspertene for å supplere og validere det første DSM-utkastet. En mest mulig hensiktsmessig dekomponering lages ved å samle ledere og fagpersoner som kollektivt definerer de ulike sub-systemene eller elementene som til sammen utgjør prosessen man vil kartlegge. Man vil umulig kunne bygge matrise ved kun å snakke med seg selv! Det er viktig at nedbrytingen er på et passelig nivå, ikke for overfladisk, samtidig ikke for detaljert. Er nedbrytingen for grov, kan det hende viktige aktiviteter som har stor innvirkning blir oversett, samtidig, er det for detaljert oppdeling er det risiko for at DSM blir mindre intuitiv, og det blir vanskeligere å identifisere sub-system grensesnitt. Oppdelingsproblematikken kan hende kan løses ved å bygge matrise med ulike abstraksjonsnivåer.

I utgangspunktet er det mulig å basere systemelementene utelukkende på prosjektplaner og ingeniørenes forslag. Erfaring viser imidlertid at i løpet av prosessen med å registrere avhengighetene, så må elementene endres. Derfor er det viktig at en sammen med ingeniørene/ledere foretar en kritisk gjennomgang av elementene.

DSM-modellen vil vokse eksponentielt i størrelse desto flere nivåer prosessen deles inn i. En generell retningslinje er å modellere en prosess til det detaljnivået som er ønskelig for å forstå og kontrollere prosessen (Browning T. R., 2001).

7.6.2 Kartlegging av informasjonsflyten og avhengighetene mellom systemelementene

Når den endelige systeminndelingen er blitt identifisert, er neste steg å samle de nødvendige data og kartlegge avhengighetene mellom systemelementene, for så å plote avhengighetene inn i matrisen som kryss (Browning T. R., 2001). Dette gjør man best ved å lese prosjekteringsdokumenter, samt ved å intervju ingeniørene som jobber med disse elementene. Denne fremgangsmåten støttes av Pektaş og Pultar (2006), som påpeker at data

for DSM kan samles inn ved å delta i selve designprosessen, f.eks. på prosjekteringsmøter eller ved å gjennomføre intervjuer. Begge disse metodene er valide i DSM litteraturen.

Det er spesielt viktig informasjon man skaffer seg ved å gjøre intervjuene. Svært mye informasjon ligger kun i ingeniørens hode. Videre har kanskje også de ulike ingeniørene ulike syn på hvordan elementer er relatert til hverandre og hvor avgjørende relasjonen/avhengigheten er. Det er viktig at intervjuene gjøres med hver enkelt og at det foregår ansikt til ansikt. Det å møtes, åpner for diskusjoner og enklere forståelse, noe som ikke ville vært mulig gjennom eksempelvis et spørreskjema. Det er viktig at den informasjonen som hentes inn er korrekt og at man heller tar litt ekstra tid fra noen ingeniører, enn at man sender ut en undersøkelse til mange og får mange ukorrekte data.

En DSM blir bygget ved å intervju de erfarne aktørene som er ansvarlige for de ulike aktivitetene og få frem deres ekspertvurderinger. Browning (2001) foreslår å spørre følgende spørsmål for å kartlegge avhengighetene¹¹:

1. Hvilken output produserer aktiviteten?
2. Til hvilke andre aktiviteter går denne outputen?
3. Hvilken input er denne aktiviteten avhengig av for at den skal bli utført?
4. Hvor kommer denne inputen fra (andre aktiviteter eller utenfor systemet)?

Svarene fra disse spørsmålene blir benyttet til å fylle rader og kolonner med avhengighetskryss. Ifølge Browning kan det være hensiktsmessig å starte med å bygge opp to matriser: én input-matrise og én output-matrise. Output-matrisen baserer seg utelukkende på spørsmål 1 og 2, mens input-matrisen baserer seg på spørsmål 3 og 4.

Videre er det er to ting som er viktige å ha i bakhodet under informasjonsinnhenting. Det viser seg nemlig at:

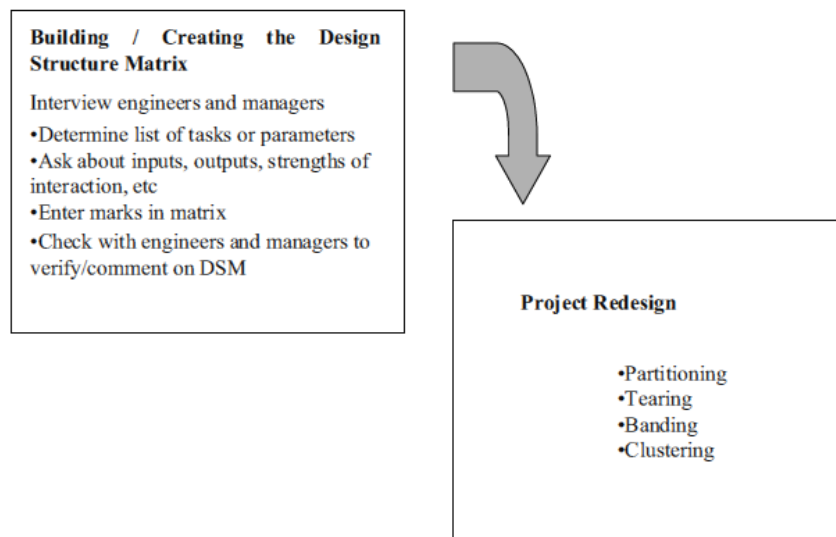
- Ingeniørene ofte gir korrekt svar på hva de trenger av informasjon og input for å utføre sin aktivitet
- Ingeniørene har mindre oversikt over hvilke aktører som avhenger av det de selv produserer

¹¹ Disse spørsmålene gjelder vel og merke for en aktivitetsbasert DSM.

Et vanlig problem er at matrisen får for mange «kryss», pga. at ingeniører ofte ønsker/vil be om så mye informasjon som mulig før de tar en avgjørelse. Dette kan lede til overflødig markering i matrisen. Samtidig kan det også bli for få «kryss» på noen områder, fordi ingeniørene baserer avgjørelser kun på tidligere erfaring, og glemmer at gjeldende situasjon kanskje er annerledes.

Etter matrisen er ferdig utfylt og har gjennomgått kontroller at dataene er korrekte, bør man gi matrisen over til ingeniørene for at de kan kommentere ytterligere eller benytte seg av den. Matrisen vil forhåpentligvis gi dem bedre forståelse og oversikt over prosjekteringsprosessen, samt bedre kommunikasjonen. Matrisen blir vanligvis gitt til dem som bidro til oppbyggingen av matrisen. Fordelene med å gjøre dette arbeidet vil forhåpentligvis vises, og håpet er at ingeniørene vil revurdere sin nåværende praksis, og søke forbedringer når de ser hele bildet av designprosessen, slik som de vil gjøre ut ifra matrisen. Kommentarer og innspill kan være med å bidra til å gi en ytterligere forbedring i struktureringen av matrisen. Når dette er gjort, kan analyseringen og omstruktureringen av DSM begynne. (DSMweb.org, 2012)

Figur 13 viser en oversiktlig fremgangsmåte for analysering av en prosess ved hjelp av DSM.



Figur 13 Fremgangsmåte for å etablere og analyse en DSM (Yassine, 2004)

8 BAKGRUNN FOR, OG PRESENTASJON AV FORSKERSPØRSMÅL

8.1.1 Bakgrunn for forskerspørsmål

Basert på de intervjuer og samtaler som er gjort i forbindelse med oppgaven, ref. kapittel 10, kan de fleste årsakene til feil og forsinkelser med tegningsleveransene (eks. mangelfull kommunikasjon, mangel på informasjon) relateres til koordineringsproblemer mellom aktørene. Andre forfattere påpeker også manglende koordinasjon som en hovedårsak til feil. Koskela, Ballard, & Tanhuanpää (1997, s. 2) refererer Josephson (2006), som studerte årsaker til feil og mangler i byggebransjen:

“...From design cause defects, those originating from lack of coordination between disciplines are the largest category.”

I byggprosjektering er avhengighetene mange og komplekse mellom de ulike aktørene som samarbeider på tvers av bedrifter og ulike disipliner. For effektiv prosjektering er nøyaktig informasjon til riktig tid sentralt. Denne informasjonen kan ofte kommuniseres gjennom planer, dokumenter, epost, tegninger, osv., men i komplekse tilfeller der avhengighetene mellom aktivitetene viser seg å være resiproke (gjensidige avhengigheter), som ofte er tilfellet i prosjektering og designprosesser generelt, er det rimelig å anta at det å sitte samlet vil gi mye bedre forutsetninger for bedre kommunikasjon. Ballard (1999, s. 4) sammenligner det å prosjektere med gå inn i en samtale med et utgangspunkt og komme ut med en bedre forståelse enn utgangspunktet:

“Designing can be likened to a good conversation, from which everyone leaves with a better understanding than anyone brought with them.”

Dette sitatet gjenspeiler det faktum at i en prosjekteringsprosess så er kommunikasjon sentralt. Ifølge Thompson (2003) krever resiproke avhengigheter koordinasjon gjennom gjensidig tilpasning. Gjensidig tilpassing skjer gjerne gjennom møter, hvor de ulike aktørene legger fram sine bidrag som skal integreres til et produkt. Det byr på mange grensesnittproblemer. Disse bidragene må derfor gjensidig tilpasses gjennom tett samarbeid og flere runder med

diskusjoner, og prøving og feiling, for å komme frem til en tilfredsstillende beslutning. God kommunikasjon og informasjonsflyt er derfor helt sentralt for å koordinere designarbeidet. Pektaş og Pultar (2006) påpeker at til tross for den intense informasjonsflyten mellom prosjekterende, er det gjort lite forskning på å forstå og manipulere disse informasjonsstrømmene. Videre fremhever de at de fleste verktøyene som finnes i byggebransjen i dag, ikke tar høyde for å analysere den iterative informasjonsflyten. Choo m. fl. (2003, s. 1) skriver i sin artikkel:

“The iterative and information-intensive nature of the design process phases makes it hard to plan and schedule design work using computer tools project management. The success of design projects depends on the quality information. Having the right information at the right time is crucial.”

Iterasjoner (omarbeid) er, som tidligere nevnt, oftest et resultat av at informasjon ankommer på feil tidspunkt, f.eks. på grunn av dårlig aktivitet-sekvensering, endringer, forsinkelser, feil osv. Det å vite hvilke aktiviteter som produserer og avhenger av hvilken informasjon, kan gi planleggere økt forståelse for hvordan minske iterasjoner og hvorfor uønskede iterasjoner er en kilde til overskridelser av fremdriftsplaner (Browning T. R., 2001). Design Structure Matrix er en metode som tar høyde for dette, og skiller seg fra andre metoder fordi den fokuserer på informasjonsflyt i motsetning til arbeidsflyt (Yassine, 2004).

En relevant forskjell mellom bygging og design, er at designaktiviteter er mer preget av resiproke avhengigheter, i motsetning til byggefasen hvor de fleste er sekvensielle. Dette gjør det mer komplekst og man har behov for en annen type planleggingsverktøy. CPM, PERT og GANTT er eksempler på tradisjonelle planleggingsverktøy som har vært benyttet i planlegging av prosjekter i flere tiår. Disse er veldig nyttige for å lage fremdriftsplan, når avhengighetene/ koblingene mellom aktivitetene er sekvensielle og eventuelt parallelle, slik man ofte har i byggproduksjon. Svakheten med disse, er at de ikke tar høyde for uforutsigbarheten som råder i byggeprosjekter, og at de heller ikke behandler gjensidig avhengigheter på en god måte. Enkelte av de tradisjonelle planverktøyene kan illustrere slike, f.eks. nettverksmodeller som CPM, men de blir fort rotete og innviklet når aktivitetene blir mange.

Det er vanskelig å fastslå nøyaktig varigheter på aktiviteter i byggproduksjon, men det er trolig enda vanskeligere å fastsette varighet for designaktiviteter. På grunn av usikkerheten rundt fastsettelse av varighet og at arbeid på byggeplassen preges av variabilitet, er det ganske sikkert at en fremdriftsplan som er planlagt for langt frem i tid, vil gi store avvik i forhold til reell fremdrift (Tommelein, 2008). CPM behandler ikke usikkerhet i tidsanslagene. Det er derimot mulig å modellere denne usikkerheten ved å anvende PERT som benytter sannsynlighetsfordeling, men denne har også sine begrensinger, siden den ikke behandler gjensidige avhengigheter tilstrekkelig. Last Planner System (LPS) er derimot en metode som tar høyde for dynamikken og uforutsigbarheten som eksisterer i byggebransjen. LPS har en ikke-deterministisk tilnærming til planlegging, og baserer seg på å vente med å planlegge i detalj så sent som mulig i prosjektene, til «last responsible moment». Tradisjonelle planleggingsmetoder har en mer «push»-drevet tilnærming til fremdrift. Med dette menes at aktiviteter utføres selv om alle forutsetninger for optimal gjennomføring ikke er til stede. Det gjøres med andre ord få korrigerende tiltak på fremdriftsplanene før arbeidet påbegynner, som resulterer i ineffektivitet (Tommelein, 2008). LPS tar høyde for dette med sin «pull»-baserte tilnærming. «Pull» bygger på at kun aktiviteter som KAN bli gjort (alle forutsetninger er tilstede), og ikke de som SKULLE vært gjort utføres. Man «drar» ut (overfører) aktiviteter som er fjernet for hindringer, fra utkikksplan til ukeplaner.

LPS bygger på å skape gjensidige forpliktelser mellom aktører. Dette gjøres gjennom felles møter hvor man produserer planer i felleskap, og metoden legger til rette for at de ulike aktørene kan koordinere arbeidsoppgavene sine gjennom tettere samarbeid og kommunikasjon. Dette er spesielt nyttig i prosesser der man har mange grensesnittproblemer og gjensidige avhengigheter. LPS har derimot sine begrensninger når det gjelder å håndtere resiproke (gjensidige) avhengigheter fullt ut.

DSM skiller seg fra tradisjonelle styringsverktøy som PERT, CPM og GANTT ved at det tar hensyn til komplekse relasjoner og samarbeid (Yassine, 2004). De tradisjonelle verktøyene er bedre på å fremstille parallelle og sekvensielle prosesser, men klarer ikke fremstille resiproke avhengigheter og iterasjoner i den grad DSM gjør (Hammond, Choo, Austin, Tommelein, & Ballard, 2000). Ved hjelp av ulike DSM-teknikker kan de resiproke avhengighetene belyses, ved å fremstille dem i såkalte «blokker». Videre foreslås enkelte fremgangsmåter for å håndtere slike «blokker». En annen faktor ved DSM er at den sekvenserer aktiviteter slik at

mest mulig informasjon blir tilgjengelig når en enkelt aktivitet skal starte. Dette aspektet synes å være et svakere punkt i LPS, hvor man ikke kan vite for sikkert at den bakoverplanleggingen som foretas, gir den rekkefølgen som gjør så mye informasjon som mulig tilgjengelig ved aktivitetstart. DSM gjør dette ved hjelp av algoritmer.

8.2 Forskerspørsmål

Utgangspunktet for denne oppgaven var et ønske om å komme nærmere en løsning for hvordan man kan planlegge prosjekteringsprosessen bedre for å oppnå sikrere leveranser av tegninger – og for å få en bedre forståelse av dette, kartlegge avhengigheter mellom tegninger. I innledningen ble følgende problemstilling presentert:

Hvordan kan prosjekteringen organiseres og ledes for å oppnå økt effektivitet og stabilitet i byggproduksjon?

Denne problemstillingen kan betraktes som ganske vid. Det ble derfor naturlig å måtte avgrense denne oppgaven til kun å fokusere på én potensiell metodikk og videre undersøke hvorvidt denne vil kunne bidra til å oppnå mer effektiv og stabil produksjon.

Design Structure Matrix (DSM) ble foreslått som en metode for å kartlegge avhengigheter i prosjekteringsprosessen. Etter videre undersøkelse ble det funnet interessant å gå videre med denne og undersøke muligheten for om DSM kan være et nyttig verktøy for å oppnå bedre kontroll og styring. Etter å ha opparbeidet kunnskap om DSM-metodikken, kom det frem at dette var en metode som belyser gjensidig avhengigheter på en god måte og som også foreslår teknikker for håndtering av disse. Det ble konkludert med at denne metoden kunne være en praktisk tilnærming til å svare på problemstillingen. LPS kunne også vært interessant å undersøke nærmere, men som en følge av at DSM virket nyttig til å foreta kartleggingen osv., ble denne metodikken valgt. Sammenhengen mellom DSM og problemstilling vil vi komme nærmere tilbake til i oppgavens analyse og drøftingsdel, og i konklusjon. For å besvare problemstillingen, er følgende forskerspørsmål utarbeidet:

Er Design Structure Matrix en hensiktsmessig metode for å håndtere gjensidige avhengigheter mellom fagdisipliner innen byggprosjektering, og kan metodikken bidra til å oppnå høyere grad av forutsigbarhet og styring av prosjekteringen?

I korte trekk dreier DSM seg om å sette opp en matrise som man kan bruke til å markere avhengighetene mellom elementene man har valgt å dele prosessen inn i, i dette tilfellet, tegninger. Videre utleder verktøyet forslag til forbedringer av matrisen. Elementene restruktureres i en rekkefølge som gjør systemet så lite komplekst som mulig, ut ifra de avhengighetene gitt. Ved hjelp av teori er det videre ført en konseptuell analyse om Design Structure Matrix kan være et nyttig verktøy for å visualisere avhengighetene, kompleksiteten og i tillegg være et verktøy for å finne evt. forbedret aktivitetsrekkefølge for prosjekteringsprosessen.

Prosjekteringen av en barneskole er benyttet som casestudie. Det var ønskelig å teste ut DSM som et verktøy for å identifisere potensielle forbedringer for hvordan prosjekteringsprosessen blir gjennomført i dette caset. Videre var det interessant å se om DSM kunne bidra til å bevisstgjøre de prosjekterende på hvilken informasjon de må utveksle med hverandre.

8.3 Kartlegging av avhengigheter mellom tegninger ved å anvende DSM

Da tegningsleveranser er det som knytter prosjektering og bygging sammen og som følge av at prosjekteringsframdriften hovedsakelig baserer seg på leveringsdatoer av tegninger, ble det funnet mest interessant å kartlegge avhengigheter mellom tegningene. Ved å kartlegge informasjonsflyten, dvs. input og output, mellom tegningene og ulike fagdisipliner, var målet å identifisere hva slags avhengigheter, og spesielt resiproke avhengigheter (gjensidig avhengigheter) som opptrer mellom ulike tegninger (disipliner). Videre virket det interessant å undersøke om en slik tilnærming kan være hensiktsmessig for å styre og koordinere prosjekteringen, slik at man unngår forsinkelser og feil/mangler på tegningsleveransene.

Å identifisere resiproke avhengigheter mellom designaktiviteter og fagdisipliner, kan også være behjelpelig i forhold til å løse «høna og egget»-problemet, dvs. når en eller flere aktører ikke kommer videre med sin aktivitet i påvente av informasjon fra andre aktører, og der man ikke vet hvem som må starte med å gi informasjon for å komme videre i prosessen. Videre var det interessant å undersøke om det var mulig å finne en bedre sekvens på tegningsproduksjonen slik at mer informasjon blir tilgjengelig i det en aktivitet skal starte. Dette for å oppnå bedre flyt og en mer effektiv prosjektering. Det å prosjektere på ufullstendig eller manglende underlag (informasjon) vil kunne generere større omprosjekteringer.

9 CASESTUDIE FOR OPPGAVEN

9.1 Fakta om prosjektet

Prosjektet Søndeled skole omfatter skoleutbygging, der et eldre skolebygg fra 1965 skal rives¹², og et nytt bygg oppføres på samme sted. I et av skolens nyere bygg fra 1985, skal det i tillegg gjennomføres utbedringer innenfor lyd, inneklima og branntekniske forhold. Nybygget vil ha et bruttoareal på 1868 kvadratmeter. Prosjektet har en netto kostnadsramme på ca. 40 millioner kroner.

Oppstart for rivning er i april, med påfølgende byggestart i mai 2012. Den nye skolen skal stå ferdig 1. juli 2013. Figur 14 viser hvordan skolen vil bli seende ut. Skolen skal driftes under hele byggeprosessen, blant annet ved å benytte brakkerigger. Dette skaper en del utfordringer spesielt med tanke på plassmangel og sikkerhet. Utbyggingen utføres som en totalentreprise med forhandlinger. Risør kommune står som byggherre.



Figur 14 Søndeled skole i 2013

Prosjekteringsprosessen startet opp i november 2011 med utarbeidelse av skisser (forprosjekt). I januar 2012 startet detaljprosjekteringen, og de første prosjekteringsmøtene ble avholdt. Da var konseptet for plantegningen (romprogrammeringen) låst for brukerne. Deler av de empiriske dataene som ligger til grunn for denne oppgaven, er et resultat av observasjon av disse prosjekteringsmøtene. Prosjekteringsmøtene ble avholdt annenhver uke.

¹² Den eksisterende underetasjen (kjelleren) skal stå igjen.

I alt har vi deltatt i 7 prosjekteringsmøter. Det er foretatt notater fra hvert møte, i tillegg til enkelte lydopptak, for å fange opp detaljer i prosjekteringen og kommunikasjonen.

Det nye skolebygget består av to etasjer som bygges over eksisterende kjeller (underetasje). Avhengighetene som ble kartlagt, ble avgrenset til tegningene som hadde direkte forbindelse til 1. etasje. 1. etasje blir bestående av totalt 41 rom. Av disse er det fire større klasse-/undervisningsrom og diverse lagerrom, verksted, sløydsal, tekstilrom, garderober og et musikkrom med tilhørende lagerrom for band-utstyr. I tillegg, et trappe-amfi som er adskilt fra musikkrommet med foldevegg, dvs., det er mulighet for å kombinere disse rommene.

Det spesielle i dette prosjektet er at Skanska, i samspill med arkitekt, sto for selve konseptideen av nye Sønedeled skole, og at den utarbeidede modellen utgjorde en del av anbudsgrunnlaget. Vanligvis har byggherren/brukerne utviklet en konseptmodell for så at entreprenøren i samarbeid med arkitekten tar over denne modellen som underlag for videre prosjektering av bygget.

9.2 Prosjekteringsgruppen

Prosjekteringsleder i prosjekt Sønedeled er også prosjektleder for samme prosjekt. Det er blitt mer og mer vanlig at prosjekteringslederrollen skilles ut som en selvstendig rolle i prosjekter, men prosjekt Sønedeled er av den størrelsesorden at en egen prosjekteringslederrolle ville blitt for kostbart. Dette har imidlertid sine fordeler, blant annet unngår man en del grensesnittproblemer.

Prosjekteringsgruppen består av, i tillegg til prosjekteringsleder, en erfaren arkitekt, to rådgivende ingeniører i byggeteknikk, en brannkonsulent¹³, en konsulent for elektro og en rådgivende ingeniør i VVS¹⁴. Byggherren er representert med en representant fra kommunen og en representant innleid fra Asplan Viak. I tillegg ble det kontrahert en rådgiver innen lyd (RIA), men han har pr. 1. april ikke deltatt på noen prosjekteringsmøter. RIA er likevel tiltenkt å delta på et par møter.

De ulike representantene som har deltatt i prosjekteringsmøtene er ikke nødvendigvis de som har utført selve prosjekteringen utenom møtene. Ofte er representantene bare ansvarlige for

¹³ Det ble foretatt et bytte av rådgivende ingeniør i brannteknikk (RIBr) underveis i prosjekteringsfasen.

¹⁴ Det ble foretatt et bytte av rådgivende ingeniør i VVS (RIV) underveis i prosjekteringsfasen.

prosjektet, og har andre ansatte som tar seg av jobben med å produsere tegningene. Slik er det også med enkelte aktører i prosjektet Sønedeled, eksempelvis arkitekten.

Som en informasjonsutvekslingskanal, er det benyttet et såkalt «prosjekthotell», som er et nettbasert samhandlingsverktøy, der aktørene legger inn sine bidrag/tegninger. Revisjoner foretas fortløpende etter hvert som aktørene former sine tegninger, og alle som er involvert får ukentlige/daglige rapporter om oppdateringer som blir gjort i hotellet via e-post.

9.3 De prosjekterende sin relasjon til Skanska

Arkitekten ble kontrahert tidlig i dette prosjektet og var med i anbudsprosessen. Dette er en arkitekt som Skanska Arendal kjenner godt, og som de har samarbeidet med i flere skoleprosjekter i Agder. De øvrige kontraherte aktørene i prosjektet er stort sett godt kjent for Skanska, og det er også hovedårsaken til at Skanska har engasjert nettopp dem. Dette har helt klart fordeler og ulemper. Fordelene er at det blir et godt og trygt miljø og de respektive partene nyter god tillit til hverandre. Det igjen kan gi høyere forutsigbarhet, da vet hva man får, og som følge av at de har opparbeidet kjennskap til hverandres måter å jobbe på.. En ulempe kan være at man ikke får så mange «nye impulser» dersom det alltid er de samme folkene som jobber sammen. Videre, siden miljøet i Arendal er såpass lite, er det viktig å ta godt vare på hverandre, med tanke på videre samarbeid.

9.4 Tegningsleveranseplan - dagens tegningsleveransestyring i Skanska

Tidligere var det vanlig at byggingen ikke startet opp før hele byggverket var ferdigprosjektert og alle tegningene lå klare¹⁵. Hardere konkurranse i bransjen har ført til at ledetiden i prosjektene har blitt kortet ned. Dette har ført til økt kompleksitet i form av at prosjektering og bygging foregår parallelt, i større grad enn tidligere. Produksjonen på byggeplass legger føringene for fremdriften til prosjekteringsgruppen. Prosjekteringsgruppen må levere tegninger og eventuelt annet underlag til produksjonen fortløpende etter de frister som er satt. Helst skal tegningene foreligge en stund i forkant for nødvendig kontroll av de utførende (entreprenøren).

Tegningsleveranseplanen er det dokumentet som legger føringer for fremdriften i prosjekteringsfasen (for Skanska). Tegningsleveranseplanen er laget med utgangspunkt i hovedfremdriftsplanen. Hovedfremdriftsplanen er den overordnede planen for hele

¹⁵ Opplysninger som kom frem under intervjuene med de prosjekterende.

byggeprosjektet. Øvrige planer som tegningsleveranseplanen, innkjøpsplaner, bemanningsplaner osv. må være forankret i denne. Dette betyr at forsinkelser i tegningsleveransene kan føre til at hele prosjektet forsinkes. Tegningsleveranseplanen er derfor et viktig hjelpemiddel for prosjekteringsleder for å styre prosjekteringsgruppens produksjon av tegninger og holde fokus på rett-tidig levering til byggeplass. En tegning må foreligge på byggeplass seinest idet utførende skal forberede å påbegynne sitt arbeid. Prosjekteringsleders jobb er å fremskaffe disse tegningene i tide slik at produksjonen på byggeplass ikke bremses.

Tegningsleveranseplanen er en liste med de aktuelle tegningene fra hvert fag, som skal leveres i byggeperioden. Tegningsleveranseplanen, som Skanska benytter i prosjekteringen av Søndeled skole, er sortert etter de ulike fagdisiplinene. Figur 15 viser et utdrag fra den faktiske tegningsleveranseplanen. Her er et utdrag av arkitektens tegninger listet opp i andre kolonne under tittel. Videre i tredje kolonne (mål) er målestokk for de respektive tegningene oppgitt. I de påfølgende kolonnene er dato for når prosjekteringstegningene skal foreligge og videre hvilken dato disse skal foreligge som (oppgraderes til) arbeidstegninger. I kolonnen helt til høyre føres status for leveransene, dvs. når de faktisk er levert.

| TEGNINGSLEVERANSEPLAN | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|---------------------|--|---|---|
| ARKITEKTTEGNINGER | | | | | |
| Tegn.nr. Dok.nr. | Tittel | Mål M 1: | Prosjekterings- tegninger foreligger: | Arbeids- tegninger foreligger: | Status Lev.dato: P-dato A-dato |
| | PLANTEGNINGER | | | | |
| | Plan kjeller | 1:50 | 16.01.12 | | 16.01.12 |
| | Plan 1.etasje | 1:50 | 16.01.12 | | 16.01.12 |
| | Plan 2.etasje | 1:50 | 16.01.12 | | 16.01.12 |
| | Takplan | 1:50 | 30.01.12 | | 16.01.12 |
| | Utenomhusplan | 1:50 | 16.01.12 | | 16.01.12 |
| | Innredningsplan | 1:50 | 16.01.12 | | 16.01.12 |
| | | | | | |
| | SNITT-TEGNINGER | | | | |
| | Snitt A-A | 1:50 | 16.01.12 | | 16.01.12 |
| | Snitt B-B (lenødesnitt) | 1:50 | 16.01.12 | | 16.01.12 |

Figur 15 Utdrag av tegningsleveranseplan for prosjektet Søndeled skole.

Tegningsleveranseplanen brukes på to måter. I første omgang benyttes den som styringsverktøy for prosjekteringsgruppen, for å vite når prosjekteringstegningene må foreligge i forhold til prosjekteringsfremdriften. Produksjon av prosjekteringstegningene må skje i en hensiktsmessig rekkefølge slik at de ulike disiplinene hele tiden har det nødvendige underlag å produsere ut i fra. Eksempelvis så er arkitektens plan-og snittegninger underlag for stort sett alle de andre fagene. Derfor produseres disse prosjekteringstegningene først. Kolonnen «Prosjekteringstegninger foreligger» oppgir leveringsdatoene de prosjekterende skal forholde seg til i denne omgang.

I neste omgang benyttes tegningsleveranseplanen for å levere arbeidstegninger til byggeplass. Kolonnen «Arbeidstegninger foreligger» er den kritiske leveringsdatoen. Arbeidstegningene skal i prinsippet foreligge uten feil, og mangler og i tide på byggeplass, slik at de utførende kan starte arbeidet uten problemer.

9.5 Bakoverplanlegging i prosjekteringsfasen

I det første prosjekteringsmøtet, startet framdriftsplanleggingen for prosjekteringsprosessen. Som et av de første prosjektene i Skanska, har man benyttet bakoverplanlegging i selve prosjekteringsfasen, en metodikk som til nå er mest brukt i planleggingen av byggproduksjon. Dette basert på «Last Planner»-metodikken.

Tradisjonelt har planleggingen av prosjekteringsfasen blitt gjort av prosjekteringsleder eller prosjektleder, som uten særlig involvering fra de prosjekterende, har satt opp en tegningsleveranseplan for alle fagene. Fordi de prosjekterende som regel er engasjert i flere prosjekter parallelt, resulterer det ofte i at de prosjekterende drøyer for lenge med å produsere sitt bidrag til det aktuelle prosjektet. En forklaring på dette, som kom frem etter samtaler med noen i Skanska, var at dette hovedsakelig skyldes at de prosjekterende ofte mangler underlag (output) fra andre fag, og at tiden det tar å innhente dette undervurderes. Ved å bli involvert i planleggingen av sin egen hverdag, er det rimelig å anta at de prosjekterende vil føle seg mer forpliktet til å levere i tide, i og med at de selv har bestemt når dokumentene skal leveres.

Bakoverplanlegging involverer de prosjekterende i planleggingen av sine aktiviteter, og legger opp til at de selv setter frister for levering av eget arbeid. Tanken bak er at det er de prosjekterende selv som best vet sekvensen og varigheten av egne aktiviteter, og hvilke tegninger (og/eller output) de til enhver tid er avhengig av. En annen hensikt med denne

metoden er at de prosjekterende skal oppnå et større eierforhold til planen, til forskjell fra en plan som er utarbeidet av prosjekteringsleder. Dette vil skape mer tillit mellom partene som føler større forpliktelse for å levere i tide når de selv har vært med å sette frister. Nok en hensikt er at det blir enklere å følge opp leveranser underveis, som en følge av at det oppstår flere delleveranser.

Såkalt «lappeteknikk» ble benyttet, der hvert fag skrev opp hva som skulle produseres uke for uke på post-it lapper i ulike farger. I første omgang ble det tatt utgangspunkt i første milepæl som var 1. igangsettingstillatelse (IG), og planlagt bakover mot nåtid. Dette kalles i Last Planner metodikken for faseplanlegging. Resultatet kan ses av Figur 16.

| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------|---|---|----------------------------|---------------------------|--|--|-----------------------------------|--|-----------------------------|--|
| | Forh. Konfr. | | Ramme-eknad Nabo varsel | | | | | | | 1. IG |
| ARK | Planer, snittm fasader | | | | 1:50 Plan kjeller 1.etg, 2 etg/snitt A B C / 1:100 fasader | Gulvleggingsplan/R omskjema | | | | Himlingsplan er 1:50 |
| RIB | Kartlegging eksisterende, oppmåling | Etablering av akoesystem, Ansvarsrett | | | Verifikasjon myndigh. Krav - Rib | Fundamentplan Nivå 1, Fundamenplan nivå 2. Peleplan | | | | Samsvar erkl. |
| RIBrann | | Ansvarsrett RIBrann | Brannstrategi | | | | | | | Samsvarserklæ ring |
| RIVent | Tekniske rom, sjakter, føringsveier, koordinering kabelbroer | | | | | | Tekn. Rom, kjeller | Plan 1, plan 2, tak | | Samsvarserklæ ring |
| RIV rør | Tekniske rom, sjakter, føringsveier, plassering av varmepumpe | | | | | | Bunnledning er | Tekn. Rom, kjeller/Plan 1, Plan 2, Tak/ Systemskjema varme | | Samsvarserklæ ring |
| RIE | | | | Sjakter EI, plassering | | | Dialog plassering av utstyr | | | Samsvarserklæ ring, brann og rømning |
| LYD | | | | | | | | | | |
| BH | | AMU uttalelse | Byggekomite 25 juni | | | | | | | |
| SKANSKA | Kontrahering Lyd | | | | | | | | Innhenting Samsvarserkl. | |

Figur 16 Bakoverplanlegging av prosjekteringen med utgangspunkt i 1. IG

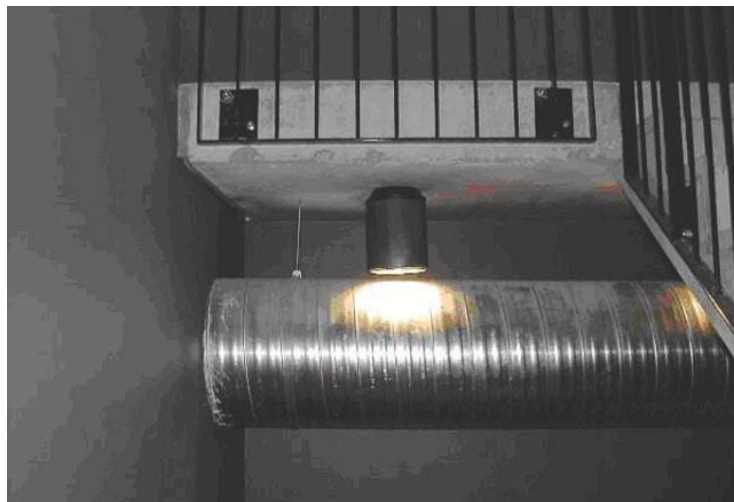
10 BEHOVET FOR EN FORBEDRET PROSJEKTERINGSPROSESS

Som nevnt i innledningen, er det et utbredt problem at det forekommer feil på arbeidstegninger og at tegninger kommer for sent til byggeplass. Det ble videre i innledningen poengtert at disse tingene kan kobles til prosjekteringsfasen. Man må undersøke hvorvidt man kan gjøre forbedringer for å oppnå effektiv og stabil produksjon, som ikke stopper opp som følge av forsinkelser eller feil i tegningsleveranser. Dette kapitlet vil forsøke å kaste litt mer lys over hvorfor det generelt er et behov for en forbedret prosjekteringsfase, og videre synliggjøre at dette også er et behov i Skanska, ved å referere blant annet fra et intervju som ble avholdt med en av de erfarne produksjonslederne i Skanska.

10.1.1 Feil og dårlig kvalitet på tegninger/byggeskader¹⁶

COWI har i samarbeid med byggekostnadsprogrammet utarbeidet en rapport, der de har forsøkt å finne svar på hvordan man kan unngå prosjekteringsfeil. Sitat som følger er hentet fra denne rapporten (COWI, 2008, s. 6):

«I dette prosjektet har vi erfart at det er en balanse (sammenheng) mellom prosjekteringskostnadene og endringskostnadene. Dersom prosjekteringskostnadene reduseres, øker endringskostnader.»



Figur 17 Prosjekteringsfeil som leder til byggefeil (COWI, 2008)

¹⁶ Byggskade: negativt avvik som framkommer gjennom redusert funksjonalitet/yteevne, med nedgradering, nyinvestering eller øking av forutsatte vedlikeholdskostnader som følge (SINTEF Nasjonal database for Byggkvalitet, 2003).

Feil og dårlig kvalitet på tegninger generer byggeskader/byggefeil, som igjen kan fordyre prosjektet ved at man kanskje må inn å rette, noe som i de fleste tilfeller vil være mye dyrere, enn om man gjør det riktig ved første oppføring (se eksempelvis Figur 17 og Figur 18).

Byggeskader i Norge koster hvert år tilsvarende omtrent 8-10 % av investeringskostnadene, ifølge SINTEFs prosjekt «Nasjonal database for Byggkvalitet» (2003).

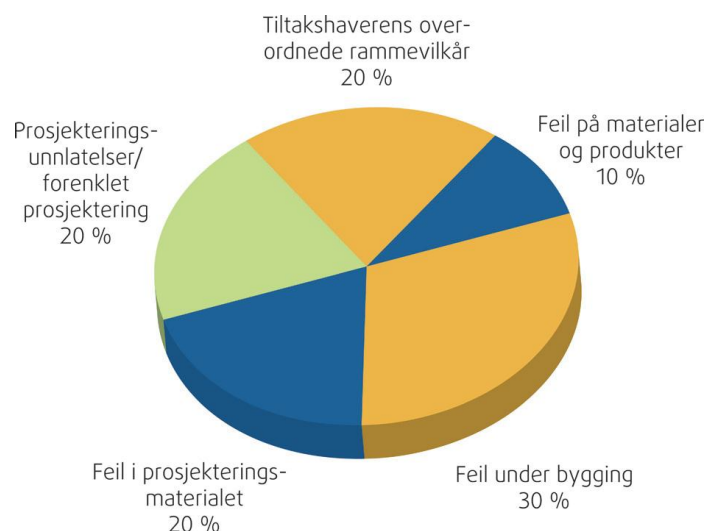
Videre gjøres også til stadighet de samme feilene gang på gang, ofte av de samme aktørene. Medvirkende årsaker til at skadene oppstår, er blant annet pris og tidspress - som kan føre til uheldige valg av materialer og løsninger, dårlig samarbeid og kommunikasjon mellom aktørene i byggeprosessen, og mange aktører som opererer utenfor sitt kompetanseområde. Bedre planlegging, samarbeid og kommunikasjon mellom de ulike aktørene nevnes spesielt som en viktig del i arbeidet med å få ned antall byggeskader (SINTEF Nasjonal database for Byggkvalitet, 2003).



Figur 18 Fordelerskap er plassert utilgjengelig bak toalett (SINTEF Nasjonal database for Byggkvalitet, 2003)

Rundt halvparten av alle byggeskader kan kobles direkte til prosjekteringsunnlaterelser eller prosjekteringsfeil. Figur 19 under, viser en fordeling av når i byggeprosessen grunnlaget for byggeskadene blir lagt, der vi kan se at 40 % er knyttet til prosjektering.

Prosjekteringsunnlaterelser/forenklet prosjektering utgjør 20 % av årsaken til byggeskader, mens de resterende 20 betegnes som feil i prosjekteringsmaterialet.



Figur 19 Fordeling av når i byggeprosessen grunnlaget for byggskadene blir lagt (SINTEF Nasjonal database for Byggkvalitet, 2003)

10.1.2 Erfaringer i Skanska knyttet til tegningsleveranser

Det virker til å være et kjent problem i byggebransjen i Norge generelt, dette med forsinkede tegningsleveranser og feil på tegningsgrunnlag. Etter et intervju med en erfaren produksjonsleder i Skanska, samt tilfeldige samtaler med andre som jobber ute på byggeplass, viste det seg at dette er noe som stemmer også for Skanska. Årsaken til at produksjonen på byggeplass stopper opp/bremses mente intervjuede at i mange tilfeller skyldtes feil på tegninger og forsinkede tegningsleveranser. Tegninger er helt klart det største problemet, mente produksjonslederen. Å vente på tegninger hadde han opplevd i alle prosjekter som han hadde vært med i som produksjonsleder. Optimalt sett ville han hatt tegningene levert i god tid før behovet er der, slik at det ville være mulig å kontrollere for feil og mangler som eventuelt må rettes opp.

10.1.3 Konsekvenser av forsinkede tegningsleveranser/feil på tegninger

Forsinkede tegningsleveranser eller feil på tegninger fører til mye frustrasjon, ifølge intervjuede produksjonsleder. Man må finne på andre ting man kan gjøre i stedet for det som er planlagt, eller det kan føre til at man utfører en oppgave uten komplett tegningsgrunnlag. Et eksempel han tok frem, var støpning etterfulgt av kjerneboring (noe som ville vært unngått dersom utsparringstegningene hadde vært mottatt på tiden).

Ekstra kjøring var et annet eksempel som ble fremlagt som en konsekvens av forsinkede tegninger. En forsinket tegning kan føre til at jernbestillingen blir forsinket, og dermed at man er nødt til å kjøre selv for å hente jern, slik at ikke produksjonen skal bli ytterligere forsinket.

Det hender at feil på tegning ikke blir oppdaget før tegningen allerede er benyttet i lengre tid. Er man kommet hit, før feilen avdekkes, er det ofte for sent, uttaler intervjuede produksjonsleder. Feilen fører da til ny runde med prosjektering, kanskje det også må gjøres endringer i byggingen, som kan få videre ringvirkninger.

Forsinkede tegningsleveranser kan arte seg i at man er nødt til å fortsette produksjon, og dermed kanskje må ta antakelser til sikker side. Ta for eksempel dekketykkelse. Mest sannsynlig vil dekke få en større tykkelse enn det som er nødvendig, noe som betyr økt kostnad i prosjektet, dersom man må ta en sikker antakelse på det.

Det er med andre ord også mye som tyder på at Skanska ikke er noe unntak: også de har et behov for å forbedre sin prosjekteringsfase slik at tegningene kommer på tiden og uten feil.

10.1.4 Uformelle samtaler

Endringer forekommer ofte og er en vanlig årsak til forsinkelser. Endringer forårsaker omprosjektering. For store endringer sent i prosjekteringen kan føre til store kostnader. Derfor må man unngå at for mye ny informasjon dukker opp sent, men at den foreligger tidlig når de aktuelle beslutningene om designet skal tas.

En annen årsak til forsinkelser i fremdriften er «høna- og egget»-problemet.¹⁷ Dette problemet beror på at en eller flere aktører ikke kommer videre med sin aktivitet, i påvente av informasjon fra andre aktører, og der man ikke vet hvem som må starte med å gi informasjon for å komme videre i prosessen. Et typisk tilfelle er at en prosjekteringstegning ikke leveres som avtalt. Når prosjekteringsleder, som har ansvaret for å koordinere prosjekteringsgruppen, konfronterer aktøren og spør hvorfor ikke tegningen foreligger, er svaret ofte at han/hun mangler underlag fra andre aktører. Ansvaret legges over på en annen aktør, som ikke har oversendt den nødvendige informasjonen. Prosjekteringsleder konfronterer så neste aktør som igjen legger ansvaret videre på en tredje aktør, osv. Dette problemet skyldes at aktørene er gjensidig avhengig av hverandres informasjon for å komme videre. Det kan tyde på at de ikke

¹⁷ Dette kom fram i flere uformelle samtaler med ulike aktører.

er bevisst på når de må sette seg ned i sammen. Antakelig må en av aktørene starte iterasjonsprosessen, jamfør Yassine (2004). Det kan også tyde på at prosjekteringsgruppen ikke er helt bevisst på hvilken input de er avhengig av, eller hva slags output de gir til andre aktører. Browning (2001) skriver at produktdesign karakteriseres som en prosess bestående av gjensidig avhengige aktiviteter – der man løser «høna og egget»-problemer. En «blokk» i DSM består av resiproke avhengigheter og kan representere «høna og egget» problemet. DSM-metodikken foreslår enkelte tiltak for å håndtere disse. Prosjekteringsleder har selvfølgelig et ansvar om å følge opp, men det er også viktig at de øvrige aktørene kommuniserer til prosjekteringsleder når de mangler underlag (informasjon). Under et av prosjekteringsmøtene i caset vi fulgte, uttalte prosjekteringsleder: «*Det som er veldig viktig framover nå, er at dere ikke sitter på gjerdet og venter på informasjon fra andre, men at dere hylene ut dersom det er noe*». Prosjekteringsleder ga her tydelig beskjed om at de prosjekterende selv må ta ansvar og si ifra når de mangler informasjon, og ikke legge ansvaret på andre i ettertid når arbeidet stopper opp.

10.1.5 Andre årsaker til feil og forsinkelser

Andre underliggende årsaker til forsinkelser og feil med tegningsleveransene som er fremkom under intervju og uformelle samtaler, kan oppsummeres:

- Ofte mangler de prosjekterende informasjon fra andre fag for å ferdigstille sine tegninger.
- Prosjekterende har ikke total oversikt over hvor den manglende informasjonen kan hentes.
- Prosjekteringsleder har ikke oversikt over hvem som mangler informasjon.
- De prosjekterende undervurderer tiden det tar å innhente informasjon fra andre fag.
- Kommunikasjonen er for dårlig mellom de prosjekterende og prosjekteringsleder.

Mange av problemene som i dette kapittelet er nevnt, skyldes også at aktørene sitter geografisk spredt for det meste, og samles hver 14. dag til prosjekteringsmøter for å løse grensesnittproblemer. Videre at det kan i mange tilfeller skje bytte av aktører underveis i prosjekteringen. I prosjekt Søndeled-tilfellet skjedde dette både med brannkonsulent pga. underkapasitet, og med RIV. Enkelte aktører som utgjør mindre del av prosjektet har ofte veldig mange prosjekter pågående parallelt. Noen er til tider involvert i 15-20 prosjekter samtidig. Dette gir mindre tid på hvert prosjekt og stadig må man komme relativt uforberedt til prosjekteringsmøtene, kanskje man har fått skummet gjennom siste prosjekteringsreferat. Dette skyldes i hovedsak økonomi og tidsknipe.

11 BYGGING AV DSM-MODELLEN

Hensikten med dette kapitlet er å forklare hvordan vi gikk fram for å bygge opp en DSM-modell, og gjøre rede for hvilke valg og forutsetninger som ble foretatt.

11.1 Valg av type DSM og systemelementer

En krevende del av oppgaven var å identifisere hva slags type DSM som kunne representere prosjekteringsprosessen på best mulig måte. Valg av type DSM avhenger av hva slags system (les: prosess, organisasjon osv.) som skal analyseres. Videre består en DSM av et visst antall systemelementer som til sammen utgjør dette systemet eller prosessen. Å definere systemelementer er også en vesentlig og utfordrende del av DSM-metodikken. Flere forfattere som har forsøkt seg på å modellere designprosesser, blant andre Senthilkuma & Varghese (2009), har funnet det utfordrende å finne en passende inndeling for prosessen, da dette kan gjøres på mange ulike måter.

Da tegningsleveranser er det direkte bindeleddet mellom prosjektering og bygging, og prosjekteringsframdriften hovedsakelig baserer seg på leveringsdatoer av tegninger, ble det naturlig å kartlegge avhengigheter mellom tegningene. Det ble likevel diskutert hvorvidt tegningene skulle brytes ned i mindre deler, men i første omgang var det ønskelig å starte med hele tegninger som systemelementer.

Senthilkuma & Varghese (2009, s. 225) forsøkte også å anvende tegninger direkte i Design Structure Matrix. Denne matrisen kalte de for «Drawing DSM», forkortet DDSM. Målet var å lede prosjekteringsprosessen ved å benytte DDSM. Ved å bruke tegninger i matrisen sparte de også mye arbeid med å finne en hensiktsmessig inndeling av aktiviteter:

“As drawings are well-defined entities, the elements of the drawing DSM (DDSM) can be identified directly and the intricacies of deciding on the appropriate abstraction level, as in the case of activity DSM, are avoided.”

Til å drøfte hvilken type DSM som var mest hensiktsmessig å anvende i dette caset, ble det tatt utgangspunkt i Tabell 1. Denne tar for seg de ulike karakteristikkene med de ulike DSM-typene.

Det ble forholdsvis raskt konkludert med at en tidsbasert DSM var det mest ideelle å anvende. Dette fordi det var interessant å finne forbedringer i forhold til fremdrift i prosjekteringsprosessen, mer konkret finne bedre sekvens til tegningsproduksjonen for å gjøre mer informasjon tilgjengelig til rett tid. I så måte var dette i overensstemmelse med anvendelseskriteriene for tidsbaserte DSM.

Videre finnes det to typer tidsbasert DSM; en aktivtetsbasert og parameterbasert DSM. Metodene for å bygge og analysere en parameterbasert DSM, er veldig like de metodene som brukes for en aktivtetsbasert DSM (Browning T. R., 2001). Det som skiller dem, er nivået som systemelementene brytes ned på, der en parameterbasert DSM går veldig på detaljnivå og baserer seg på parametere som høyde, lengde osv., mens en aktivtetsbasert baserer seg på aktiviteter/oppgaver.

Det finnes ikke en forhåndsdefinert type DSM som direkte kan benyttes for på et problemområde. Ifølge Senthilkuma & Varghese (2009) er de fleste anvendte DSM i byggebransjen aktivtetsbasert. I dette caset er det forsøkt å tilpasse en DSM etter de systemelementer og relasjoner som råder i systemet som er fokus, i dette tilfellet tegninger. Det ble vurdert at det dermed ville være mest nærliggende å anvende en aktivtetsbasert DSM, da parameterbasert ville bli for detaljert. Ifølge Browning (2001) er en aktivitet-basert-DSM tidsbasert og derfor spesielt nyttig for å belyse iterasjoner (feedback) i designprosesser. Som tidligere nevnt, karakteriseres byggprosjektering av iterasjoner. En aktivtetsbasert DSM kan i første omgang vise avhengighetstrukturen til en prosess basert på den nødvendige informasjonsflyten, og beskrive input og output relasjoner mellom aktivitetene.

11.2 Valg og forutsetninger i forhold til systemelementer

Tegninger ble valgt som systemelementer i matrisen. Det ble derfor tatt utgangspunkt i tegningsleveranseplanen for casestudiet (se utdrag av denne i kapittel 9.4). Denne inkluderer alle tegningene som skal leveres i prosjektet, og oppgir også hvem som er ansvarlig for de ulike tegningene. Totalt var det listet opp ca. 95 tegninger i den foreløpige tegningsleveranseplanen.

I utgangspunktet var det et ønske å analysere hele prosjekteringsprosessen og ta for oss avhengighetene mellom alle tegningene som ble produsert. Omfanget av å analysere alle

tegningene med tilhørende avhengigheter ble vurdert til å bli for stort og tidkrevende, noe som resulterte i at kartleggingen måtte avgrensnes, til kun å gjelde de tegningene som direkte kan relateres til opprettelsen av plantegningen for 1.etg. Arkitekten påpekte imidlertid at plantegningene burde vært sett på under ett, for å få et korrekt bilde. Dette har med å gjøre at 1. og 2. etasje har mange beslutninger felles, dvs. noen av valgene som gjøres for 2. etasje vil påvirke 1. etasje og vice versa (f.eks. vertikale føringsveier og bæresystem). Likevel var det behov for å gjøre en avgrensning, siden det å skulle kartlegge avhengigheten mellom 95 tegninger ville vært for omfattende og særlig tidkrevende.

Sammen med veileder i Skanska og prosjekteringsleder, ble det diskutert hvilke tegninger fra tegningsleveranseplanen som var aktuelle å inkludere i matrisen. De som ble tatt med var de som hadde en direkte avhengighet til plantegning 1.etg og motsatt. Tegninger som ikke direkte kunne «linkes» mot Plan 1. etasje ble utelatt, slik som f.eks. Plan 2.etasje, Takplan og Utenomhusplan. Videre ble enkelte tegninger slått sammen til ett systemelement, der dette var hensiktsmessig. For eksempel ble arkitektens snittegninger (Snitt A-A, Snitt B-B, Snitt C-C og Snitt D-D) slått sammen til ett systemelement. Tilsvarende sammenslåinger ble gjort med fasadetegningene, elektrotegningene, VVS-tegningene og lydtegninger.

I utgangspunktet var det utelukkende tegninger og annet nødvendig designunderlag (eksempelvis skjemaer) som ble oppført som systemelementer. Det er bevisst ikke inkludert møter, dokumenter som trengs for å søke igangsettingstillatelser, osv. i matrisen. Det er imidlertid lagt til enkelte systemelementer som enkelte aktører påpekte burde være med, f.eks. luftmengdeberegningsskjema. Rekkefølgen med tegninger ble flere ganger endret underveis, ettersom innspillene fra de

| | |
|---------------------------------|----|
| Plan ARK 1. etg | 1 |
| Snittegninger ARK | 2 |
| Fasadetegninger | 3 |
| Brannplan/konsept 1. etg | 4 |
| Snittegninger Brann | 5 |
| Dekke over U. etg/Fundamentplan | 6 |
| Dekke over 1. etg | 7 |
| Snittegninger RIB | 8 |
| Bunnledningsplan 1. etg | 9 |
| Skjema Amfi RIB | 10 |
| Skjema Systemvegger | 11 |
| Skjema Foldevegger | 12 |
| Plan LYD 1. etg | 13 |
| Elektrotegninger | 14 |
| Heis-detalljer | 15 |
| Skjema Amfi ARK | 16 |
| Skjema Trapper | 17 |
| Skjema Garderobes | 18 |
| Diverse detaljetegninger | 19 |
| Innredningsplan | 20 |
| Himlingsplan | 21 |
| Romskjema | 22 |
| Dørskjema Utv. | 23 |
| Dørskjema Innv. | 24 |
| Vindusskjema | 25 |
| Utsparingstegninger VVS | 26 |
| Energiberegninger | 27 |
| Systemskjema varmeanlegg | 28 |
| Systemskjema Ventilasjon | 29 |
| Plan VVS 1. etg | 30 |
| Snittegninger VVS | 31 |
| Luftmengdeberegningsskjema | 32 |

Figur 20 Systemelementer oppført i kronologisk rekkefølge

prosjekterende kom. Enkelte tegninger ble fjernet der det falt seg naturlig.

Da de tegningene som hadde en klar og logisk forbindelse til plan 1. etg var listet opp, var neste steg å sortere dem etter den rekkefølge som aktørene så for seg at de ville bli påbegynt i prosjektet (kronologisk etter oppstartstidspunkt). Årsaken til dette, var ønsket om å sammenligne resultatet av sorteringen, mot en eventuelt optimalisert tegningsproduksjonssekvens fra DSM-analysen. Utkastet for tegningsrekkefølgen ble så diskutert med prosjekteringsleder, og deretter med prosjekteringsgruppen etter et prosjekteringsmøte, i tilfelle prosjekteringsleder skulle ha glemt noe. Prosjekteringsleder avsluttet med å si at han selv ikke kunne klart å sette opp en mer riktig kronologisk rekkefølge på tegningene enn den som forelå på det tidspunktet. Den endelige rekkefølgen på systemelementene (tegningene) er vist på Figur 20, og utgjør grunnlaget for DSM-modellen. Disse oppføres så i rad og kolonne. Deretter kunne kartleggingen av avhengighetene mellom dem starte.

11.3 Kartlegging av avhengigheter

Innsamling av data i forhold til DSM er ofte en iterativ og tidskrevende prosess (Pektaş & Pultar, 2006). Forfatterne utdyper dette med at etter hvert som man oppnår dypere forståelse av systemet, resulterer det ofte i at avhengighetsforholdene modifiseres og endres. Hovedsakelig dreier datainnsamling i forbindelse med DSM seg om å kartlegge avhengigheter mellom systemelementer. Overført til vårt tilfelle, er det snakk om å kartlegge input og output (informasjon) mellom tegninger, altså avhengighetene mellom dem, men også spesifikt hva slags informasjon fra en tegning som trengs for å produsere en annen tegning.

Ifølge Pektaş og Pultar (2006) kan innsamling av nødvendig data skje gjennom inspeksjon av tegninger (modeller, designdokumenter) og intervjuer med de prosjekterende. I et case-studie utført av samme forfattere, er DSM anvendt ved å benytte en parameter-basert tilnærming på et himlingssystem. Data ble samlet gjennom flere detaljerte intervjurunder, som ble gjort lydopptak av. I tillegg til intervjuene, ble tegningene og aktørenes underlag for å produsere tegninger, eksaminert i studiet. Det første utkastet til systemelementer ble identifisert etter de første intervjuene og de ble validert av ekspertene.

I tilfelle for denne oppgaven, ble kartleggingen av avhengighetene mellom tegningene utført ved å foreta intervjuer, mer eller mindre uten å gå veien om å studere tegninger osv. Det kan

hende det ville vært fordelaktig å studere tegninger på forhånd, men det ble vurdert slik at våre forutsetninger for å skulle si noe om hva de ulike aktørene er avhengig av for å tegne, var begrenset. Det er de prosjekterende selv, som har best forutsetninger for å si hvilke tegninger de er avhengig av for å produsere sine tegninger. I enkelte artikler om DSM har man brukt en skala fra 1-3 for å klassifisere avhengighetenes styrke (Austin, Baldwin, & Waskett, 2000), men dette ble ansett for bli for komplekst. I en samtale med doktorgradsstipendiat Kai Haakon Kristensen, som har drevet litt forskning rundt DSM, kom han med anbefalinger om ikke å gjøre matrisen for kompleks, men anvende deler av DSM teorien og tilpasse det til vårt prosjekt.

Den originale DSM-modellen (matrisen) ble ikke benyttet når avhengighetene ble krysset av under intervjuene. Det ble laget to uavhengige matriser spesielt for intervjurundene, en for input og en for output, jamfør Browning T. R (2001). I disse matrisene ble kun tegningene til den som skulle intervjues listet opp, alle andre fags tegninger ble fjernet. Hensikten med dette var å gjøre det enklere for informanten med å fokusere utelukkende på egne tegninger. Figur 21 viser et eksempel på en input-matrise som ble benyttet. Intervjuene ble i første omgang innledet ved å gjennomgå input-matrisen. Vi startet fra toppen og tok for oss tegning for tegning.

Følgende spørsmål ble stilt til informanten angående input:

1. *Hvilke tegninger er du avhengig av for å lage tegning A?*
2. *Hvilken spesifikk informasjon henter du ut fra de ulike tegningene som du nettopp har nevnt?*

| | | Input RIB | | | |
|--------------------------|-----|--|----|----|----|
| | | Hvilke tegning(er)/input M er RIB avhengig av for å lage en tegning N | | | |
| | | ARK RIB RIBr Lyd Elektro Energi RIV | | | |
| | | Dekke over U. etg. Dekke over 1. etg. Snittegninger RIB Skjema amfi | | | |
| | N\M | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Plan 1. etg. | 1 | x | x | x | x |
| Innretningsplan | 2 | | | | |
| Snittegninger ARK | 3 | x | x | x | x |
| Fasadetegninger | 4 | | | | |
| Romskjema | 5 | | | | |
| Dørskjema utvendig | 6 | | | | |
| Dørskjema innvendig | 7 | | | | |
| Vinduskjema | 8 | | | | |
| Skjema systemvegger | 9 | | | | |
| Skjema foldevegger | 10 | | | | |
| Skjema amfi | 11 | | | | x |
| Skjema trapper | 12 | | | | |
| Skjema garderobes | 13 | | | | |
| Diverse detaljtegninger | 14 | | | | |
| Himlingsplan | 15 | | | | |
| Heis-detaljer | 16 | | | | |
| Dekke over U. etg. | 17 | 17 | | x | |
| Dekke over 1. etg. | 18 | | 18 | x | x |
| Snittegninger RIB | 19 | x | | 19 | |
| Skjema amfi | 20 | | | | 20 |
| Brannkonsept 1.etg | 21 | x | x | x | x |
| Snittegninger brann | 22 | | | | |
| Plan 1. etg. Lyd | 23 | | | | |
| Snittegninger lyd | 24 | | | | |
| Elektrotegninger | 25 | | | | |
| Energiberegninger | 26 | x | x | | |
| Bunnledningsplan 1. etg. | 27 | | | | |
| Plan 1. etg. VVS | 28 | | x | | |
| Snittegninger VVS | 29 | | x | | |
| Systemskjema varmeanlegg | 30 | | | | |
| Systemskjema ventilasjon | 31 | | | | |
| Oppleggskjema sanitær | 32 | | | | |
| Utsparingstegninger VVS | 33 | x | | | |

Figur 21 Del av input-matrise, benyttet under intervju med RIB

Dersom informanten oppga at tegning A var avhengig

av tegning B, ble det satt et «X» i krysningspunktet mellom rad og kolonne for de aktuelle tegningene. Videre hadde vi et eget skjema der vi førte opp svarene med den detaljerte informasjonen fra spørsmål 2.

I andre omgang ble de prosjekterende spurt om hva slags output de gav fra seg til andre aktører, dvs. hvilke av sine egne tegninger som blir brukt for å produsere andre tegninger. Hensikten med dette var å teste validiteten til den informasjonen som ble hentet inn. Ved å lage to forskjellige matriser basert på input og output, kunne disse sammenlignes for å sjekke om den informasjonen som ble oppgitt samstemte. Følgende spørsmål ble stilt for å kartlegge output-matrisen:

3. *Hvilke av dine tegninger (hvilken output) brukes som underlag for å få produsert andre tegninger?*
4. *Hvilken spesifikk informasjon hentes ut fra de tegningene du nettopp har nevnt?*

Hensikten med spørsmål 2 og 4, var å se hvor mye informasjon som de enkelte aktørene henter ut fra en tegning. De prosjekterende er ikke avhengig av hele tegningen, men som oftest er de avhengige av ulik detaljinformasjon. I mange tilfeller henter de ut bare deler av tegningen, mens i andre tegninger trenger man større deler. Noen ganger trenger de kanskje bare en muntlig beskjed, eller at det tas en beslutning. Eksempel på spesifikk informasjon (svar fra RIB på spørsmål 2) som hentes fra de andre tegningene for å lage «Dekke over underetasje», kan sees i Tabell 2.

| Nr: | Navn: | Info: |
|-----|---------------------|--|
| 1 | Plan 1 etg. | Veggplassering, trenger videre å se hva som kan konstrueres i betong (konstruksjonstype). RIB ønsker mye betong, men må kjempe en del mot ARK. |
| 3 | Snitt ARK | Trenger å se oppbygging av veggen for å se hvordan dekker kan legges. |
| 19 | Snitt RIB | Trenger å se oppbygging av veggen for å se hvordan dekker kan legges. |
| 21 | Brannkonsept | Krav til brannmotstand på ulike søyler, bjelker. Ulike bygningsdeler. |
| 26 | Energiberegninger | Energikrav kan påvirke tykkelse på dekker og vegger |
| 33 | Utsparingstegninger | Hull i dekker |

Tabell 2 Spesifikk informasjon som trengs for å lage «Dekke over U.etg/Fundamentplan».

11.3.1 Hvilken informasjon (input/output) skal registreres i matrisen?

I perioden hvor intervjuene med de prosjekterende pågikk, ble vi etterhvert oppmerksomme på at informasjonen de enkelte tar ut av ulike tegninger, har ulik viktighetsgrad. Aktørene snakket om at noen tegninger kunne være «praktiske» å ha, men ikke nødvendige, mens andre tegninger gav informasjon som var helt nødvendig, osv. Dette var en erfaring som vi tenkte på som viktig å formidle videre til de som eventuelt skal drive videre forskning, at man bør være kritisk til hvilke typer input og output som registreres i matrisen, og videre være konsekvent i valget man tar. Eksempler på ulike tilnærminger til hvilken informasjon som kan registreres i matrisen er følgende:

- Informasjon som er helt nødvendig for i det hele tatt å kunne produsere noe som vil være av noen verdi.
- Informasjon som vil lette arbeidet, og kanskje bidra til at arbeidet går raskere/informasjon som kan være praktisk å ha. Dette i tillegg til den nødvendige informasjonen.
- Informasjon aktørene, i praksis, mener de vil komme til å benytte i dette prosjektet.

Matrisen blir forskjellig ut ifra hvilken tilnærming man velger å ha som utgangspunkt. Antall avhengigheter vil variere. Informasjon kan gjøre at risikoen for å prosjektere feil, reduseres. Graden av informasjon kan også bidra til å gi flere eller færre iterasjoner. Hvor mye informasjon som blir tatt hensyn til, kan derfor ha betydning for resultatet matrisen gir, og videre utfallet i prosjektet. Derfor er det av interesse å drøfte dette.

Det ble besluttet å registrere «informasjonen aktørene tror de vil komme til å benytte i prosjektet i praksis» i matrisene som fremlegges i denne oppgaven. Dette var fordi prosessen antakeligvis vil fremskride slik som det er planlagt, og man vil dermed kunne finne ut hvorvidt det er mulig å forbedre prosessen slik den faktisk foregår i praksis.

12 EMPIRISK ANALYSE OG DRØFTING

12.1 DSM-analyse og resultater

En sentral del av prosessen med å finne ut om DSM kan være et nyttig verktøy for styring av prosjekteringsfasen, er selve analysen av den DSM-modellen som er etablert. Det er mye som potensielt kan analyseres, derfor vil analysen kun ta for seg de observasjonene som belyser de mest kritiske aspektene. Ifølge Huovila, Koskela, Lautanala, Pietiläinen, og Tanhuanpää (1995) er det praktisk å forstå strukturen i en design prosess. Dette gir mange praktiske muligheter til å forbedre prosessen, og de nevner flere muligheter ved en DSM analyse:

- Identifisere blokker bestående av resiproke avhengigheter.
- Identifisere en optimal rekkefølge på aktiviteter.
- Identifisere hvilke aktører som påvirkes ved endringer.
- Identifisere kritiske aktiviteter som produserer output for mange andre aktiviteter.

Huovila m.fl. (1995) forfatter at blokker som identifiseres med DSM illustrerer de aktivitetene som er gjensidig avhengige (resiproke), og som må gjøres i sammen i felleskap. Videre foreslår de å benytte enkelte teknikker for «concurrent engineering¹⁸» for å håndtere slike «blokker». Videre påstår forfatterne at en optimal rekkefølge på aktiviteter, lett kan finnes for sekvensielle og parallelle aktiviteter. Denne informasjonen kan brukes for å lage en bedre fremdriftsplan for designprosessen.

Design Structure Matrix illustrerer også informasjonsflyten mellom ulike aktiviteter og personer. En modell av informasjonsflyten kan bli brukt til å identifisere hvilke aktører som må informeres når det skjer en endring i designprosessen.

Aktiviteter som produserer informasjon (output) for andre aktiviteter kan bli identifisert. Slike aktiviteter er kritiske brikker i designprosesser. Slike krever ekstra oppmerksomhet, da forsinkelser ved disse aktivitetene kan utsette hele prosjekteringen. Korrekt informasjon i tide er som tidligere nevnt viktig for effektiv prosjektering.

¹⁸ «Concurrent engineering» er, kort fortalt, en metodikk innenfor ledelse av design og produktutvikling, som er basert på parallell utførelse av oppgaver utført i tverrfaglige team, fra start til slutt. Målet er å frembringe et produkt til markedet på kortest mulig tid, med best mulig kvalitet. (Yassine & Braha, 2003)

Med utgangspunkt i disse mulighetene, ble det foretatt en analyse av DSM med tegninger. DSM-analysen ble foretatt med dataverktøyet Loomeo.

12.1.1 DSM dataverktøy

I de fleste tilfeller er man avhengig av et dataverktøy for å optimalisere rekkefølgen for en DSM-matrise. En større matrise vil ikke være håndterlig å rokere manuelt. Det er utviklet en rekke verktøy med algoritmer som partisjonerer alle typer DSM matriser. Noen verktøy gjør i tillegg blant annet «clustering¹⁹», «banding²⁰» og «tearing» (DSMweb.org, 2012).

Noen av verktøyene er utviklet i forbindelse med forskning, og er fritt tilgjengelig (noen betingelser gjelder). Eksempler på disse er: Antares DSM, Cambridge Advanced Modeller, DeMAID, Excel Macros for partitioning and simulation og MATLAB Macros for Clustering DSMs. Andre verktøy er kommersielt tilgjengelig, blant andre LOOMEO, Lattix, ADePT og Project DSM. (DSMweb.org, 2012).

Etter en rask testing av de ulike kommersielle verktøyene, ble LOOMEO foretrukket og dermed valgt som partisjoneringsverktøy i denne oppgaven. Programmet er avansert, men var likevel ganske enkelt, kjapt, oversiktlig og intuitivt å bruke. I forhold til mange av de andre programmene mener vi dette programmet skilte seg ut, og var særdeles mye mer brukervennlig enn mange av de andre.

Det ble i samhandling med våre veiledere vurdert hvorvidt oppgaven skulle ta for seg algoritmen som ligger til grunn for DSM dataverktøyet, men ble avgjort at dette ikke skulle gjøres.

12.1.2 LOOMEO

Det aller første man må merke seg med Loomeo, er at programmet ved partisjonering, forsøker å flytte alle kryssene på oversiden av diagonalen. Altså motsatt av slik som beskrevet i teorien. Dette kan ses av Figur 23 som viser en 4x4 matrise, som er partisjonert. Årsaken til at teorien i denne oppgaven ikke er samstemt med programmet, er at det veksles mellom kolonne eller rad som mottaker av input, både i litteraturen (jf. DSM teori) og i de ulike

¹⁹ Clustering er, kort fortalt, å dele inn elementene i blokker eller moduler for å kunne identifisere forbedrede lagformasjoner eller produktoppbygning. Benyttes kun i team-basert og komponent-basert DSM.

²⁰ Banding er at man får vekslende lyse og mørke striper for å vise uavhengige aktiviteter, og kan dermed benyttes til å finne den kritiske linjen i prosjektet, og videre de kritiske aktivitetene. (DSMweb.org, 2012)

programmene, som resulterer i at noen rydder kryssene over, mens andre rydder under diagonalen. Det er derfor viktig å definere hvordan man leser av matrisen. Systemelementene er listet opp både vertikalt og horisontalt i Loomeo. I tilfellet med Loomeo, er det de horisontale systemelementene (på toppen av matrisen) som er avhengig av informasjon, og de vertikale systemelementene som avgir informasjon.

| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | | X | | X |
| B | 2 | X | | | |
| C | 3 | X | | | |
| D | 4 | | X | | |

Figur 22 Eksempel Original DSM i Loomeo

| | | 3 | 1 | 4 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| C | 3 | | X | | |
| A | 1 | | | X | X |
| D | 4 | | | | X |
| B | 2 | | X | | |

Figur 23 Eksempel: Partisjonert DSM i Loomeo

Loomeo benytter ulike farger på avhengighetskryssene for å skille mellom type avhengigheter. Grønne kryss illustrerer gjensidig avhengige elementer (to-veis avhengigheter), mens blå kryss illustrerer sekvensielle avhengigheter (enveis-avhengighet). Dette blir illustrert i Figur 22 og Figur 23.

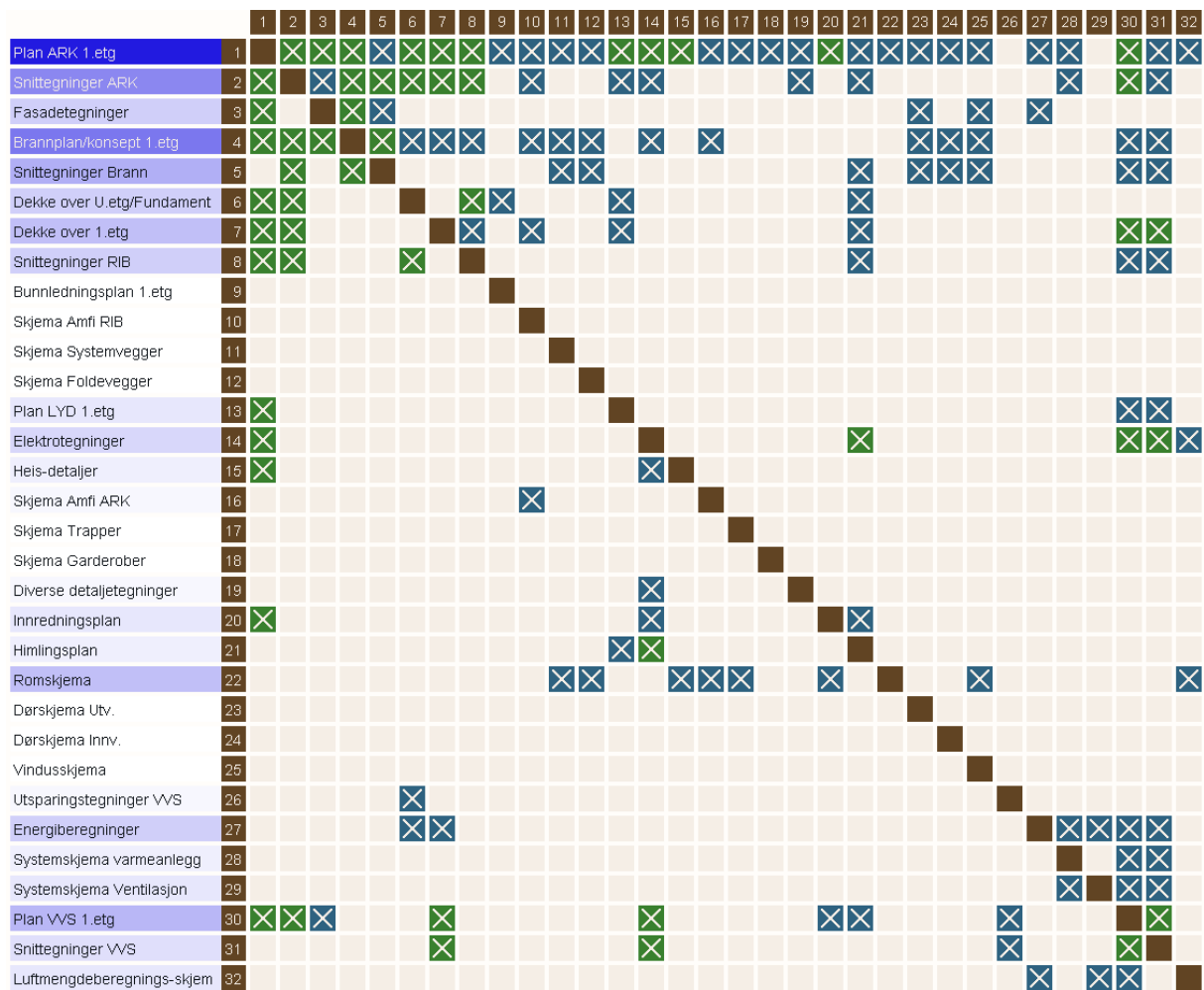
Loomeo har en del fine applikasjoner, blant annet en egen verktøylinje for analysedelen. Denne gjorde det lett å veksle fram og tilbake mellom den originale matrisen (se Figur 24) og den partisjonerte matrisen (Figur 25). Det var også enkelt å rokere på systemelementene manuelt, dvs. flytter man en rad opp eller ned, flyttes tilhørende kolonne deretter. Det var dermed lett å se konsekvensene av de rokingene som ble gjort.

Det er også mulig å få fram ulike fargevalør (ulike nyanser i blått) på systemelementene, for å lettere synliggjøre de systemelementene som hadde flest avhengigheter, og som var mest kritiske. Jo mørkere blåfarge på systemelementene, desto mer kritisk er systemelementene.

12.1.3 DSM – partisjonering

Kryssene (avhengighetene) fra hvert enkelt intervju ble registrert inn i én og samme matrise, som resulterte i en kvadratisk matrise, bestående av 32 tegninger. Denne matrisen refereres her som den originale DSM (ettersom den ofte kalles det i litteraturen) og inneholder totalt 49

feedback-kryss (les: kryss under diagonal), hvorav 23 er sekvensielle (blå) og 26 er gjensidig avhengige (grønne). Den originale matrisen kan sees i Figur 24.

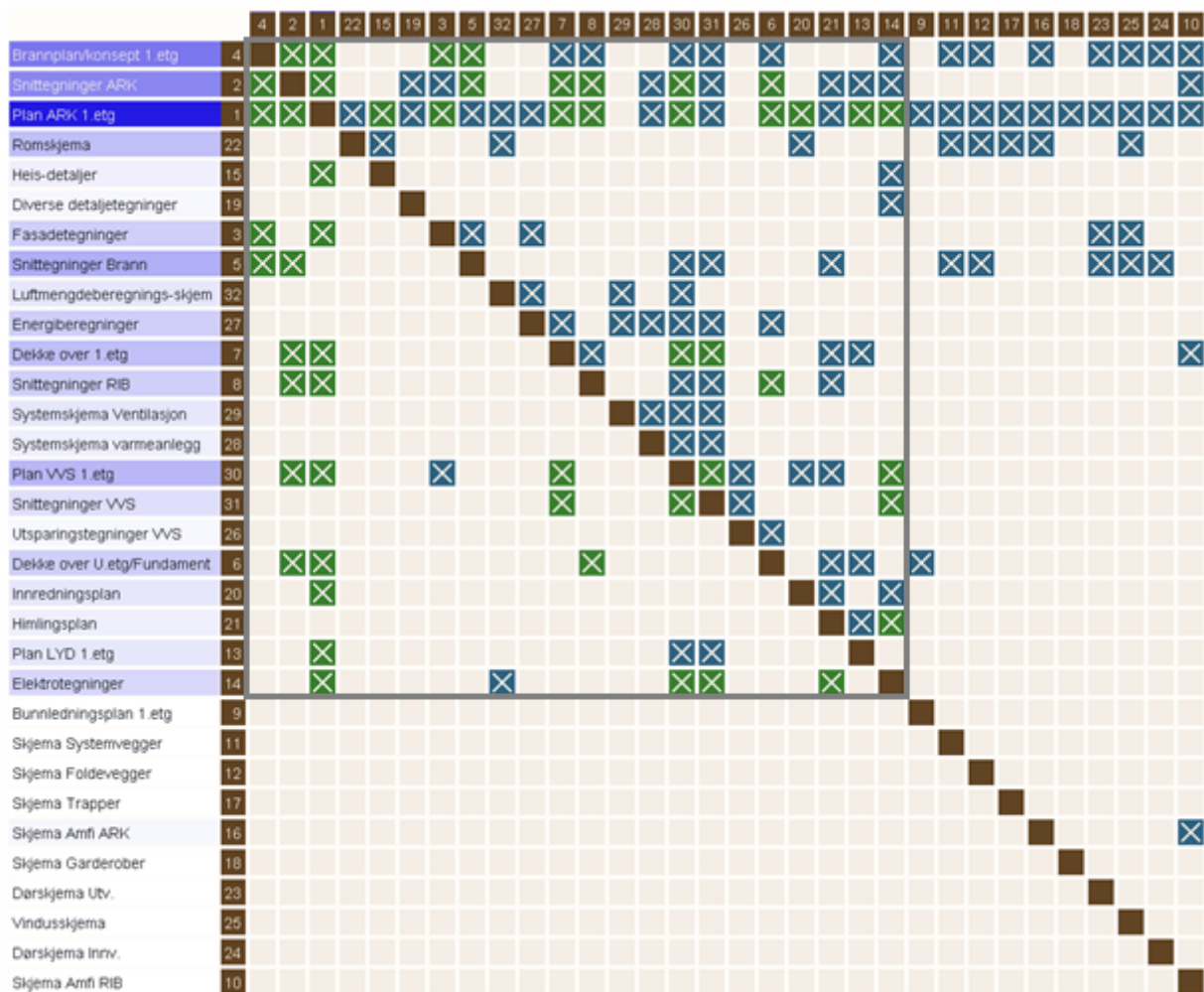


Figur 24 DSM før partisjonering (original)

Første analytiske steg, var å partisjonere matrisen, som betyr å omstrukturere aktivitetene slik at man får flest mulig kryss på oversiden av diagonalen. Formålet med dette, er som tidligere nevnt, å maksimere tilgjengeligheten av informasjon ved oppstart av aktiviteter, og minimere mengden av iterasjoner og størrelsen på såkalte iterative «looper». En partisjonert matrise indikerer en optimal utførelsessekvens på aktivitetene, ut fra de avhengighetsforholdene som er gitt, nettopp fordi informasjonen vil være tilgjengelig ved oppstart og man unngår å gjøre estimater eller antagelser.

Første gangen vi kjørte partisjoneringen i Loomio, ble det oppdaget at «Skjema garderøber» sto oppført som aktivitet nr. 1. Dette skyldtes at denne tegningen ikke var registrert med noen input- eller outputkryss, som antakeligvis var en glipp fra arkitektens side. I det minste ville

den i hvert fall være avhengig av plantegningen til arkitekten. Derfor ble det satt et kryss for at «Skjema garderober» er avhengig av input fra «Plan ARK» for å gjennomføres. Resultatet virket da å bli mer korrekt, som vi ser av Figur 25, da «Skjema garderober» nå påbegynnes mye senere i prosessen. Dette eksempelet er tatt med som et godt eksempel på hvordan unøyaktige eller manglende opplysninger under intervjuet kan gi store konsekvenser for validiteten til den restrukturerte matrisen. Etter dette krysset var lagt til, ble resultatet av restruktureringen som man kan se av Figur 25.



Figur 25 Partisjonert matrise (med blokk illustrert)

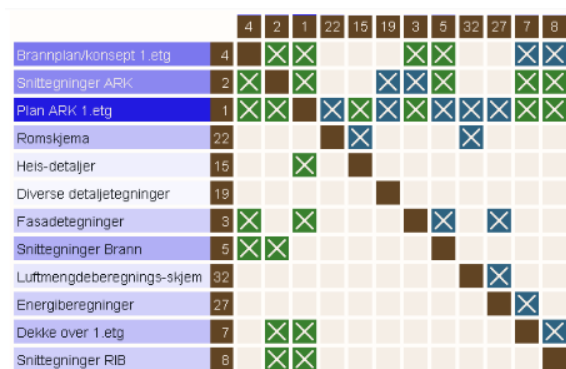
Etter partisjonen gikk antallet kryss under diagonalen ned, fra totalt 49, til 30 feedback-kryss. Av disse 30 gjenstående, var 4 sekvensielle avhengigheter. Dette gav en reduksjon på 19 feedback-kryss, i forhold til den originale matrisen (Figur 24). Å gjøre informasjon tilgjengelig før en aktivitet skal starte, er selve essensen for å optimalisere fremdriften i prosjekteringen. Dersom man studerer den partisjonerte matrisen, er disse 19 feedback-kryssene flyttet på oversiden av diagonalen, som også betyr at informasjonen som trengs for å

utføre aktiviteten er tilgjengelig ved oppstart (Figur 25). Dette gjelder blant annet for «Elektrotegninger» og «Utsparingstegninger VVS». Disse har fått flyttet henholdsvis 6 og 2 kryss, fra under, til over diagonalen, etter partisjoneringen. De sto deretter igjen uten feedback-kryss.

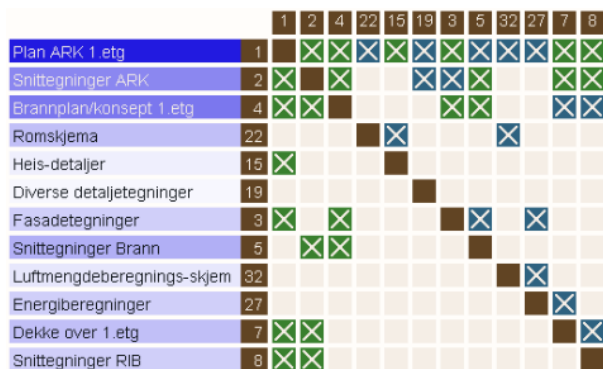
Til tross for at matrisen er partisjonert, og mer informasjon er blitt tilgjengelig til rett tid, viser matrisen fortsatt stor kompleksitet i forhold til at det fremdeles er relativt mange kryss igjen under diagonalen. Dette kan observeres av Figur 25. De resterende 26 feedback-kryssene viser gjensidige avhengigheter. Dog er dette ikke overraskende. Slike feedback-kryss ligger nemlig i designprosessens natur, og angir at planen har noen elementer som danner en «loop», noe som betyr at prosjektet ikke kan fortsette sekvensielt uten at enkelte aktiviteter utføres med mangelfulle opplysninger eller at antagelser gjøres. Dette stemmer også overens med Yassine(2004), som påpeker at det er umulig å få alle kryssene på oversiden av diagonalen når man har med designprosesser å gjøre, og fokuset bør derfor være å flytte kryssene så nærme diagonalen som mulig. Poenget er å identifisere disse feedback-kryssene og håndtere dem på en slik måte at designprosessen kan skride frem uten at risikoen øker.

Det som imidlertid er oppsiktsvekkende, er antallet kryss som er igjen på undersiden, og avstanden disse har i forhold til diagonalen. Antakelig skyldes dette at enkelte tegninger (i hovedsak 1, 2, 4) har veldig mange relasjoner til andre tegninger, både input- og outputkryss. Selv om man foretar en partisjonering, så vil spesielt disse tegningene fortsatt ha mange kryss igjen under diagonalen. I tillegg er flere av kryssene plassert relativt langt unna diagonalen. Som vi ser av Figur 24, er «Plan ARK (1)»²¹, markert med en sterk blå farge, som indikerer både at den trenger mest input av alle tegningene og gir output til flest tegninger. Dette kan være en indikasjon på at tegninger som systemelementer ikke er hensiktsmessig.

²¹ Tallet som står i parentes bak navnet på tegningen angir nummeret tegningen hadde i den originale matrisen.



Figur 26 Den partisjonerte DSM indikerer at «Plan ARK» skal påbegynnes som nr. 3.



Figur 27 Plantegning er manuelt flyttet øverst, manuell partisjonering.

En viktig observasjon er at «Plan ARK (1)» er blitt flyttet ned til tredje plass i den partisjonerte matrisen. Dette stemmer ikke overens med slik som aktivitetene utføres i praksis. Ut fra en evaluering som ble foretatt med de prosjekterende (ref. kapittel 0), gjorde de prosjekterende det helt klart at en plantegning alltid påbegynnes først, og at det er ikke mulig å starte med brannkonseptet, uten å ha en plantegning som underlag. Et utkast til plantegning (konsept) derimot, kan ofte lages med innspill fra brukerne i første omgang, uten at arkitekten er avhengig av innspill fra brannrådgiver eller noen av de andre rådgiverne. Dette stemmer også med det Meland (2000, s. C8) skriver i sin doktoravhandling: «...arkitektens plan- og snittegninger inngår som direkte grunnlag for de andre rådgiverenes tegninger...». Det er liten tvil om at «Plan ARK» må starte. Likevel er det interessant å se nærmere på hvorfor Loomeo gav dette resultatet.

I følge Eppinger (2007) er det kun de sekvensielle og parallelle systemelementene som blir sortert i kronologisk rekkefølge ved partisjonering. Aktiviteter som inngår i iterative «blokker» eller «looper» vil indikeres, men de vil ikke bli sekvensert innad i selve «blokken». Dette fordi de er gjensidige avhengige av hverandre. Studerer man matrisen med hensyn på dette, ser man at «Plan ARK 1.etg (1)», «Snittegninger ARK (2)» og «Brannplankonsept (4)» er gjensidig avhengig av hverandre, og disse utgjør potensielt en «blokk». Dette kan være en forklaring på hvorfor «Plan ARK» ikke står øverst. Eppinger presiserer at det er viktig å finne en optimal sekvens på aktivitetene innad i en «blokk». Når man har en «blokk», sier teorien at de som inngår i «blokken» er nødt til å bli enige seg i mellom, om hvem som skal starte ved at noe informasjon blir antatt. I dette tilfelle må «Plan ARK» starte.

Videre vet man at algoritmen som ligger til grunn i Loomeo forsøker å flytte kryssene så nærme diagonalen som mulig. Dersom man tar utgangspunkt i den partitionerte matrisen, og flytter «Plan ARK» manuelt helt opp, slik som vist i Figur 27, ser man at de tilhørende kryssene i rad og kolonne flyttes lengre bort fra diagonalen. Dette får ikke store konsekvenser for informasjonstilgjengeligheten ved oppstart, siden disse tegningene allerede er gjensidig avhengig av hverandre. Derimot, siden «Plan ARK» er den tegningen med desidert flest kryss av alle, vil enda flere kryss komme lengre vekk fra diagonalen sammenlignet med utgangspunktet. Siden LOOMEO er programmert til å flytte kryssene så nærme diagonalen som mulig, kan dette være forklaringen på hvorfor «Plan ARK» er sekvensert som nr. 3.

I en «blokk», må systemelementene studeres nærmere for å se om systemelementene faktisk er gjensidig avhengige. Et aspekt som i den forbindelse kan diskuteres, er om det er riktig å si at arkitekten er gjensidig avhengig av sine egne tegninger, slik som det fremstilles mellom f.eks. «Plan ARK» og «Snittegninger ARK». Gjensidige avhengigheter er forbundet med kompleksitet og må koordineres gjennom gjensidig tilpasning (eng: mutual adjustment), jf. Thompson (2003). Det kan ikke karakteriseres som gjensidige avhengigheter dersom arkitekten produserer på bakgrunn av egen output, i motsetning til dersom arkitekten er avhengig av informasjon fra andre aktører for å produsere sine tegninger, og vica versa. Dette medfører at dersom en «blokk» kun består av arkitektens egne tegninger, er det rimelig grunn til å anta at disse «blokkene» kan ignoreres. Derimot, hvis andre aktørers tegninger inngår i «blokken», er det rimelig grunn til å tro at kryssene som viser gjensidig avhengighet mellom arkitektens egne tegninger, vil være av betydning. Dersom tegninger skal benyttes som systemelementer, er det derfor vanskelig å komme utenom at informasjonsutveksling mellom egne tegninger fremstilles som gjensidige avhengigheter i matrisen.

Under analysen ble det observert at tegninger som systemelementer har klare svakheter. Dette er som følge av at det har vært vanskelig å identifisere hvilke aspekter ved designet som krever ekstra oppmerksomhet og koordinasjon (identifisering av blokker). Videre var resultatet som fremkom av den partisjonerte matrisen, ifølge de prosjekterende (ref. 0) ikke gjennomførbar i praksis. Dette skyldes i hovedsak at:

- Flere av tegningene er et resultat av en prosess som inneholder mange sub-aktiviteter (oppstrøms og nedstrøms i prosjekteringsprosessen), og som foredles gjennom tverrfaglig

input gjennom flere faser av prosjekteringen. Dette gjør at tegninger i seg selv blir umulig å sekvensere.

- Enkelte tegninger (1, 2, 4) har veldig mange input- og outputkryss. Dette gjør at kryssene ikke samles langs diagonalen som ønskelig, men tvert imot, blir spredt utover matrisen. Dette gjør at veldig mange tegninger inngår i en «blokk».
- Tegninger kan ikke stå oppført flere ganger i matrisen uten at man deler den opp. Dette betyr at en tegning ikke kan inngå i flere «blokker» (bortsett fra hvis det er «blokker» som overlapper hverandre – det vil i så fall gi et uoversiktlig bilde).

Enkelte av disse punktene kan videre utdypes:

Et problem er å representere flere enn én iterasjon mellom to spesifikke tegninger. Et kryss indikerer at to tegninger er avhengig av informasjonsutveksling én eller flere ganger. Det er lett å tro ut fra dette ene krysset at det kun forekommer iterasjon(er) mellom disse, på et spesifikt tidspunkt. Det indikeres ikke når eller i hvilken fase av prosjekteringen de ulike iterasjonene (informasjonsutvekslingene, diskusjonene osv.) forekommer mellom to spesifikke tegninger. Dermed forsvinner litt av den nytten man kan ta ut av en DSM-matrise som sett fra prosjekteringsleders ståsted i forhold til å benytte matrisen til styring. Dette problemet kan forklares ved et eksempel fra matrisen:

«Plan ARK (1)» og «Brannplankonsept(3)» har kryss som indikerer at disse er gjensidig avhengig av informasjon for å ferdigstilles. Dette skjer gjennom flere iterasjoner, derimot er det lett å få inntrykk av at det kun forekommer én iterasjon mellom disse tegningene og at dette forekommer helt i starten, siden disse tegningene er «oppstrøms» i rekkefølgen. Dette er bare delvis riktig. Under intervjuene med ARK og RIBr svarte de at de er avhengig av informasjon og innspill fra hverandre gjennom ulike faser av prosjektet. For eksempel i første fase av prosjekteringen, utarbeider ARK et konsept til planløsning, i samråd med byggherre og brukerne, før de andre rådgiverne kommer med sine faglige innspill, deriblant brannrådgiver (RIBr) som tidlig legger premissene for rømningsveier osv. I senere faser må brannrådgiveren inn å detaljere og kontrollere planen, noe som ofte fører til forandringer på planløsningen. Det første forslaget eller løsningen kan få ringvirkninger for de andre aktørene, derfor må det ofte flere runder til med diskusjon, prøving og feiling. Kryssene som illustrerer avhengighetene mellom disse to tegningene kan ikke direkte relateres til en av disse fasene, men blir på en måte en representasjon for «alle» iterasjonene. Dette indikerer at tegninger som

systemelementer ikke virker helt hensiktsmessig, spesielt med tanke på å sekvensere tegninger og dermed benytte matrisen til fremdriftsplanlegging.

Ikke bare var tegninger umulig å sekvensere, men identifisering av «blokker» eller «designlooper» viste seg å være vanskelig. Et poeng med DSM er å kartlegge når to eller flere aktører bør sette seg ned i felleskap for løse komplekse problemer ved gjensidig tilpasning. «Blokker» kan i så måte være et nyttig verktøy for å illustrere når slike sammenkomster er nødvendig, dvs. dersom disse er brutt ned til en håndterbar størrelse. Slike blokker blir problematisk å illustrere ved å benytte «hele» tegninger som systemelementer i matrisen. Slik som kryssene er gitt mellom de ulike tegningene i dette tilfellet, ville man fått én stor «blokk» som omtrent dekker hele matrisen, dvs. at mesteparten av tegningene ville vært inkludert i en slik «blokk» (illustrert i Figur 25). Dersom potensielt «alle» tegningene inngikk i en blokk, ville dette indikert at alle aktørene måtte sitte sammen gjennom hele prosjekteringen. Slik informasjon gir ikke noen nytteverdi for prosjekteringsleder. Da forsvinner litt av poenget med «blokkene». Poenget med slike blokker er å få de på en størrelse som er håndterlig og praktisk mulig å gjennomføre. Skal slike «blokker» være hensiktsmessig, bør man kunne identifisere et antall designaktiviteter (designproblemer) som er praktisk å løse i felleskap. I tillegg bør «blokker» kunne identifisere når i prosjekteringsfasen disse sammenkomstene bør forekomme. Det hadde derfor vært ønskelig å «rive» disse «blokkene» i mindre «blokker», iht. «tearing». Hovedproblemet er at en spesifikk tegning ikke kan stå listet opp flere plasser i matrisen, og kan dermed ikke inngå i flere blokker (iterasjonsrunder), noe de fleste tegningene gjør i virkeligheten. Dermed er det ikke hensiktsmessig å gå videre med teknikker som f.eks. «tearing».

Evaluering av DSM-resultatene med prosjekteringsgruppen

Det ble foretatt en evaluering av resultatene av DSM-analysen og den nye foreslåtte rekkefølgen, i sammen med prosjekteringsgruppen.

Denne evalueringen var planlagt å skulle gjennomføres i etterkant av et prosjekteringsmøte, der normalt de fleste av de prosjekterende er tilstede. Det viste seg at på det aktuelle prosjekteringsmøtet, som var det siste møtet der muligheten for en evaluering var til stede, var det en del sentrale personer som av ulike grunner ikke kom. Videre hadde en av de tilstedeværende (RIBr) ikke tid til å bli ut møtet, og deltok da heller ikke på evalueringen. RIB, ARK og prosjekteringsleder var de gjenværende deltakerne, som deltok på denne evalueringen.

Evalueringen ble likevel gjennomført som planlagt, men fikk ikke like mange deltakere som håpet på, dessverre. Naturlig nok av den grunn fikk man ikke hørt like mange meninger, men om man skal peke på noe positivt, så måtte det være at de som faktisk var til stede, fikk tid til å uttale seg litt mer grundig, selv om det ble kort tid. En halv time var tiden som ble avsatt, en del mindre enn hva som hadde vært ønskelig, og derfor ble kanskje ikke evalueringen like strukturert og nøye som ønsket.

Det som skulle evalueres ble skrevet ut på A3 ark, alt i to eksemplarer, og hengt opp på veggen. Hensikten med dette var at de prosjekterende skulle bli litt mer aktive ved å stå rundt matrisene mens de diskuterte. Dette fungerte for så vidt bra sett i forhold til at oppmøtet var litt begrenset. Diskusjonen kom i gang raskt, og de fikk muligheten til å forklare seg i plenum og aktivt benytte matrisene som var hengt opp. Dette kan ses på bildet under (Figur 29).

| | | | |
|--------------------------------|----|--------------------------------|----|
| Plan ARK 1.etg | 1 | Brannplan/konsept 1.etg | 4 |
| Snittegninger ARK | 2 | Snittegninger ARK | 2 |
| Fasadetegninger | 3 | Plan ARK 1.etg | 1 |
| Brannplan/konsept 1.etg | 4 | Romskjema | 22 |
| Snittegninger Brann | 5 | Heis-detalljer | 15 |
| Dekke over U.etg/Fundamentplan | 6 | Diverse detaljtegninger | 19 |
| Dekke over 1.etg | 7 | Fasadetegninger | 3 |
| Snittegninger RIB | 8 | Snittegninger Brann | 5 |
| Bunnledningsplan 1.etg | 9 | Luftmengdeberegnings-skjema | 32 |
| Skjema Amfi RIB | 10 | Energiberegninger | 27 |
| Skjema Systemvegger | 11 | Dekke over 1.etg | 7 |
| Skjema Foldevegger | 12 | Snittegninger RIB | 8 |
| Plan LYD 1.etg | 13 | Systemskjema Ventilasjon | 29 |
| Elektrotegninger | 14 | Systemskjema varmeanlegg | 28 |
| Heis-detalljer | 15 | Plan VVS 1.etg | 30 |
| Skjema Amfi ARK | 16 | Snittegninger VVS | 31 |
| Skjema Trapper | 17 | Utsparingstegninger VVS | 26 |
| Skjema Garderobber | 18 | Dekke over U.etg/Fundamentplan | 6 |
| Diverse detaljtegninger | 19 | Innredningsplan | 20 |
| Innredningsplan | 20 | Himlingsplan | 21 |
| Himlingsplan | 21 | Plan LYD 1.etg | 13 |
| Romskjema | 22 | Elektrotegninger | 14 |
| Dørskjema Utv. | 23 | Bunnledningsplan 1.etg | 9 |
| Dørskjema Innv. | 24 | Skjema Systemvegger | 11 |
| Vindusskjema | 25 | Skjema Foldevegger | 12 |
| Utsparingstegninger VVS | 26 | Skjema Trapper | 17 |
| Energiberegninger | 27 | Skjema Amfi ARK | 16 |
| Systemskjema varmeanlegg | 28 | Skjema Garderobber | 18 |
| Systemskjema Ventilasjon | 29 | Dørskjema Utv. | 23 |
| Plan VVS 1.etg | 30 | Vindusskjema | 25 |
| Snittegninger VVS | 31 | Dørskjema Innv. | 24 |

Figur 28 Faktisk tegningsrekkefølge (venstre) og omstrukturert tegningsrekkefølge (høyre)



Figur 29 Her diskuterer RIB, arkitekt og prosjekteringsleder resultatene fra DSM-analysen.

Evalueringen startet opp med en fremvisning av den nye tegningsrekkefølgen som fremkom etter partisjoneringen av matrisen (Figur 28). Målet var at de prosjekterende skulle kommentere den nye rekkefølgen og komme med tanker om hvordan den ville fungert i praksis, kontra den faktiske rekkefølgen.

Prosjekteringsgruppen som evaluerte den restrukturerte rekkefølgen, ble tidlig enig om at den faktiske rekkefølgen så mer riktig ut sammenlignet med den restrukturerte rekkefølgen. Sånn sett ble det klart at den restrukturerte rekkefølgen ikke ga noen spesielle forbedringer, og at det ville være mer hensiktsmessig å gjennomføre tegningsproduksjonen etter den faktiske rekkefølgen. Dette var imidlertid deres første inntrykk, og det er ikke umulig at de prosjekterende ikke identifiserte noen forbedringer fordi de muligens er litt «blinde» på hva som er den riktige rekkefølgen å gjøre ting på. Dette som en følge av at de baserer evalueringen på erfaring. I tillegg hadde de prosjekterende også fått minimalt med innføring i DSM.

RIB påpekte at tegningene burde deles opp i faser for å få en mer logisk gang. Dette ble også støttet av ARK og prosjekteringsleder. De prosjekterende kommenterte de største avvikene mellom den nye og den faktiske rekkefølgen. Siden evalueringen ble noe kortere enn ønskelig, ble det ikke tid til å ta analysere alle avvikene.

Blant avvikene som ble kommentert på den omstrukturerte rekkefølgen, var oppstart av «Heisdetaljer (15)» og «Plan VVS (30)». De prosjekterende ble spurt om det var logisk at disse påbegynnes såpass mye tidligere i forhold til den faktiske rekkefølgen viser (Figur 28). Til dette var svaret nokså tvetydig. De prosjekterende påpekte at selve heisdetalj-tegningen i realiteten ikke produseres så tidlig som det utgår fra den restrukturerte rekkefølgen, men igjen at det kommer an på hva slags detaljer som menes her. For eksempel så er sjaktmål og gruedybde viktige heisdetaljer og input som ARK må få ganske tidlig inn sin planløsning. Dette er altså informasjon som angår heis, men det betyr ikke at selve heisdetalj-tegningen produseres eller kan produseres på dette stadiet av prosjekteringsfasen. Heisdetalj-tegningen lages som regel senere i prosjekteringsfasen, og denne innebærer f.eks. utforming av døråpning, hvordan den skal se ut innvendig, type materialer, osv. Dette betyr i praksis at «Heisdetaljer» gir fra seg «output» til plantegningen på to ulike stadier (eller i to ulike tilstander).

Det samme gjelder for «Plan VVS». Arkitekten er helt avhengig av å ha en formening om sjakstørrelse og hvor stor dekkegjennomføringen blir tidlig i prosjekteringen, før plantegningen ytterligere kan detaljeres. Ifølge arkitekten er det imidlertid ikke nødvendig å vite den nøyaktige plassering av utkast til ventilasjon i himlingsplanet på et så tidlig stadium, ei heller å vite de nøyaktige dimensjonene på rør som går under dekkene. Dette gjøres i en senere fase av prosjekteringen, men i mellomtiden er det andre innspill som er viktigere å få på plass. Disse forklaringene ga ytterligere bekreftelse på at tegninger ikke kan sekvensieres, og at det er mer hensiktsmessig å dele tegningene opp i flere deler, faser, aktiviteter og/eller endelige beslutningspunkter e.l. Tegninger i DSM vil derfor ikke være egnet for å generere en god fremdriftsplan.

Videre ble det påpekt at matrisene var vanskelig å tolke (lese), altså ikke særlig intuitive. Dette kan også skyldes at de prosjekterende ikke hadde fått noe særlig innføring i DSM-teori.

For å sitere prosjekteringsleder: «Skjemaet slik dere har satt det opp er systematisk og greit, men det jeg reagerer på er pedagogikken i dette. Som en formidlingskanal blir dette for komplisert». Imidlertid er DSM et hjelpemiddel for å finne en bedre sekvens på aktiviteter og for å bidra til å lage en fremdriftsplan. Intensjonen med DSM er at det ikke skal brukes direkte som en fremdriftsplan, men brukes til å sekvensere mer optimalt slik at informasjon blir tilgjengelig på rett tid, og at det derav kan lages eksempelvis et Gantt-diagram, som vil være lettere for de fleste å forstå (se Figur 31).

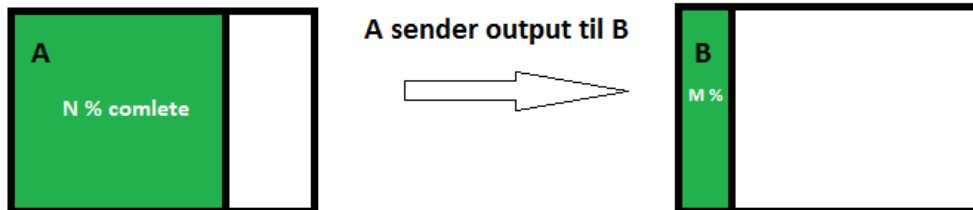
Det ble konkludert med at DSM med fullstendige tegninger som systemelementer ikke var hensiktsmessig. Derimot burde videre arbeid konsentreres om å etablere en ny DSM, hvor man fokuserer på å dekomponere tegningene og/eller prosjekteringsprosessen.

12.1.4 Oppsummering analyse

Tegningsproduksjon er ikke en lineær (sekvensiell) prosess hvor tegningene produseres en etter en (Hammond, Choo, Austin, Tommelein, & Ballard, 2000). Tvert imot er flere tegninger i produksjon samtidig, og av disse er igjen flere tegninger gjensidig avhengig på grunn av mange grensesnittproblemer som må løses med gjensidig tilpasning. Det gjør det vanskelig å sekvensere tegningene. Et klart eksempel på hvorfor tegninger er vanskelig å sekvensere, er arkitektens plantegning og snittegninger. Disse tegningene påbegynnes først, men er også de som ferdigstilles sist, fordi de er avhengig av informasjon fra andre tegninger for å bli ferdig. De starter som utkast og utvikles/foredles gjennom input fra de andre tegningene. Dette kan forklares på en logisk måte da arkitektens plan- og snittegninger står i sentrum av prosjekteringen, og utgjør i bunn og grunn byggets form (modellen av bygget). Derfor starter man med å prosjektere disse på et konseptuelt nivå, for så å integrere rådgivernes tegninger (tekniske installasjoner som ventilasjonskanaler osv.) for å ferdigstilles. Plan- og snittegningene har også vært underlag (output) for de fleste andre tegninger gjennom ulike stadier. Dette er med på å understreke et annet poeng med tegningene, og det er at en aktør ofte bare trenger delinformasjon fra en eller flere tegninger, for eksempel en parameter som høyde eller lengde, og ikke nødvendigvis hele tegningen. En tegning trenger derfor ikke være fullstendig komplett for å gi «output» videre.

Dersom tegning A er avhengig av tegning B, trenger ikke B nødvendigvis gjøres 100 % ferdig for at A skal ha den informasjonen som trengs for å kunne fullføres. Dette er forsøkt visualisert i Figur 30. Tegning A gir informasjon til tegning B på et stadiet der A bare er N

prosent ferdig utført. Videre kan tegning B være i oppstartsfasen eller i en tilstand der den er M prosent utført. Et gitt eksempel på dette, er for eksempel en plantegning som er på konseptstadiet og langt fra ferdig, og samtidig er den grunnlaget for RIB sitt forslag til bæresystem.



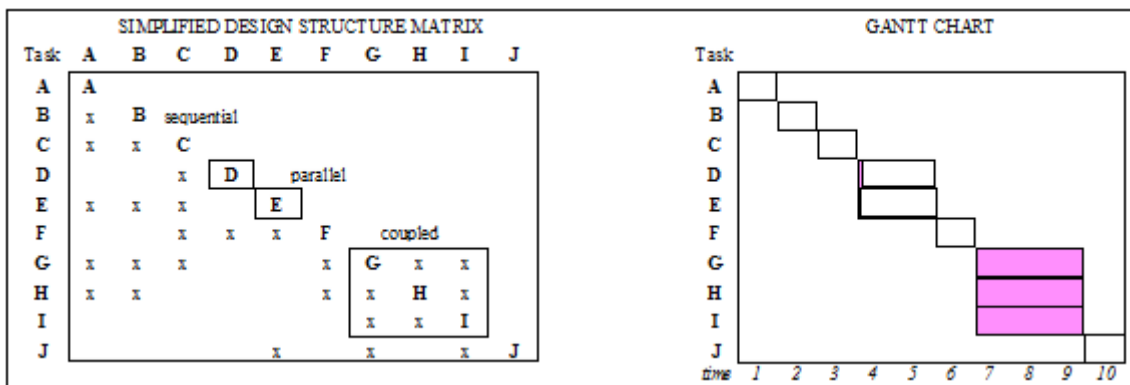
Figur 30 Tegninger gir output og får input i ulike tilstander og faser.

Hovedproblemet med tegninger som systemelementer er at de er for «store», «overfladiske» eller «abstrakte» som systemelementer i en DSM. Med dette menes at tegninger inneholder for mange underliggende elementer, aktiviteter, beslutninger osv. Tegninger kan ikke ses på som aktiviteter, men som et resultat av en prosess som inneholder mange aktiviteter. Dette indikerer sterkt at det er mer hensiktsmessig å bryte ned en tegning i mindre deler (delinformasjon, aktiviteter, beslutninger).

12.2 Forslag til en mer egnet DSM

Observasjonene som er gjort i forbindelse med DSM-analysen tyder på at å benytte tegninger som systemelementer i DSM, ikke er hensiktsmessig, spesielt med tanke på styring av fremdrift i prosjektering. For videre testing av Design Structure Matrix ble det klart at det er behov for en ny inndeling av prosjekteringsprosessen, med andre ord må det identifiseres nye og mer egnede systemelementer.

Et stort poeng med en ny inndeling, er å identifisere blokker for å belyse resiproke avhengigheter mellom aktiviteter. Koskela, Ballard, & Tanhuanpää (1997) har illustrert hvordan slike blokker kan være et nyttig verktøy for prosjekteringsleder i Figur 31. Et annet sentralt moment er at systemelementene lar seg sekvensere, slik at man kan identifisere en optimal rekkefølge på aktivitetene.



Figur 31 Blokker illustrert i DSM kan overføres til f.eks. Gantt (Koskela, Ballard, & Tanhuanpää, 1997)

Flere forslag til dekomponering ble diskutert og vurdert som aktuelle:

- Dele tegningene opp i mindre deler, f.eks. i stadier, faser eller prosent (%) ferdig
- Dekomponere prosjekteringsprosessen i sub-aktiviteter
- Dekomponere prosjekteringsprosessen i parametere eller beslutningspunkter

Et av forslagene er å dele tegningene inn i «prosent ferdig», f.eks. «Plan ARK» 20 %, «Plan ARK» 40 % osv. Dette ble imidlertid funnet vanskelig å definere, fordi det er vanskelig å si konkret hvor ferdig en tegning er på et visst tidspunkt og dermed er det utfordrende å relatere avhengighetene til et stadie eller en fase. Dersom rådgiver for VVS skulle klare å oppgi hva han trengte av informasjon fra arkitektens 20 % - ferdige tegning, måtte han ha vært fullstendig klar over hva de 20 % - ferdig innebærer. Det kreves derfor at disse prosentene må defineres. Dette vil trolig være vanskelig å definere, da f.eks. 20 % ferdig også vil variere fra prosjekt til prosjekt. En lignende inndeling som kan være aktuell, er å dele tegninger inn i stadier eller faser. Man kunne f.eks. delt fasadetegning inn i flere faser, f.eks. «utkast fasadetegning», «detaljert fasadetegning» osv. Stadiene og hva de bør inneholde kan muligens defineres ut ifra hva aktørene svarer at de henter ut av detaljer fra ulike tegninger. Imidlertid kan dette tilsynelatende også virke litt utfordrende.

Det kan derfor være hensiktsmessig å gå tilbake til filosofien bak DSM-metoden, der essensen er at et prosjekt kan deles inn eller brytes ned til individuelle oppgaver eller aktiviteter, og avhengighetene mellom disse oppgavene kan bli analysert for å identifisere den underliggende strukturen til prosjektet (Eppinger & Smith, 1997). Videre vil det å studere avhengighetene og relasjonene mellom individuelle designoppgaver kunne forbedre den totale designprosessen.

En utfordring kan være å finne nivået som prosjekteringsprosessen skal brytes ned på, siden aktiviteter kan ha ulikt omfang. Senthilkuma og Varghese (2009, s. 226) fant det utfordrende å dele inn prosjekteringen på et hensiktsmessig nivå:

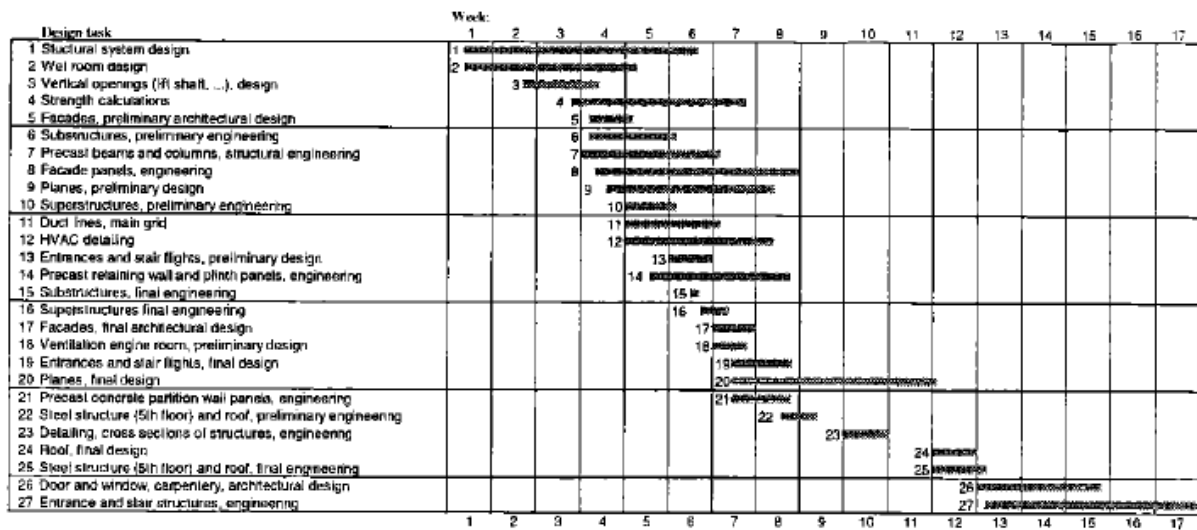
“The key limitation was in the area of DSM formation process. Typically most of the available methodologies are based on activity DSM. As activities can be defined at any levels (starting from a very detailed level to a high level of abstraction), finding the suitable level of abstraction to formulate the activity DSM was difficult.”

I en parameterbasert eller «low-level»-DSM dekomponeres prosesser svært detaljert i beslutninger omkring parametere. Med parameter menes for eksempel høyde på bjelke eller høyde mellom tak og himling. Pektaş og Pultar (2006) anvendte en parameterbasert DSM gjennom et casestudie hvor man tok for seg utformingen av en nedsenket himling²², og dekomponerte himlingssystemet ned i veldig små detaljer (parametere). I følge de samme forfatterne, så gir en parameterbasert DSM innsikt i selve prosesstrukturen, i tillegg til at den kan identifisere en mer optimal sekvens for parameter-beslutninger. Ulempen med en parameterbasert DSM er det store antallet parametere som involveres i bygningsprosjektering (Pektaş & Pultar, 2006). Antallet parametere som kreves for å fullt ut komme fram til et endelig design, er avhengig av kompleksiteten. Antallet parametere for å beskrive en bil f.eks, er estimert til et sted mellom ti tusen og en million, og et fly godt over en million. Det er ikke gjort lignende estimater for et byggverk, men det er forventet å være et svært høyt antall. Skal denne typen DSM anvendes må man derfor velge ut de mest kritiske parametere slik at dette antallet reduseres til et håndterlig antall. Dette er hovedutfordringen med parameterbasert DSM.

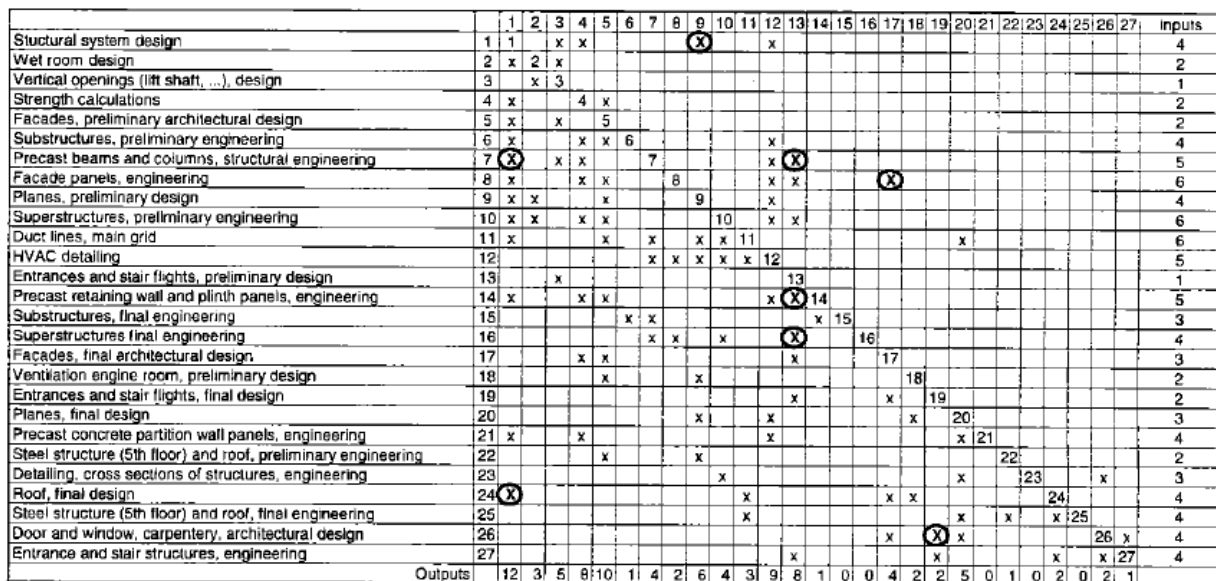
Aktivitetsbasert DSM er den typen som er mest anvendt i litteraturen, blant andre av Huovila, Koskela, Lautanala, Pietiläinen, og Tanhuanpää (1995). De testet ut DSM på et casestudie, med formål om å teste anvendeligheten til metodikken for planlegging av designaktiviteter. De tok utgangspunkt en fremdriftsplan for prosjekteringen med aktiviteter opplistet i kronologisk rekkefølge (Figur 32) og laget en matrise (As-is matrix) ut fra denne. Denne

²²En nedsenket himling (eng: suspended ceiling) kan ses på som sekundært innvendig tak som er opphengt i etasjeskilleren (taket). Hensikten er å skjule tekniske installasjoner som ventilasjonskanaler, rør og ledninger osv. Denne løsningen er ofte brukt i moderne konstruksjoner. Kilde: Det Store Norske Leksikon (2011)

matrisen kan ses på Figur 33. Aktivitetene fra fremdriftsplanen utgjør systemelementene i matrisen. Videre ble matrisen restrukturert for å finne en bedre sekvens på aktivitetene.



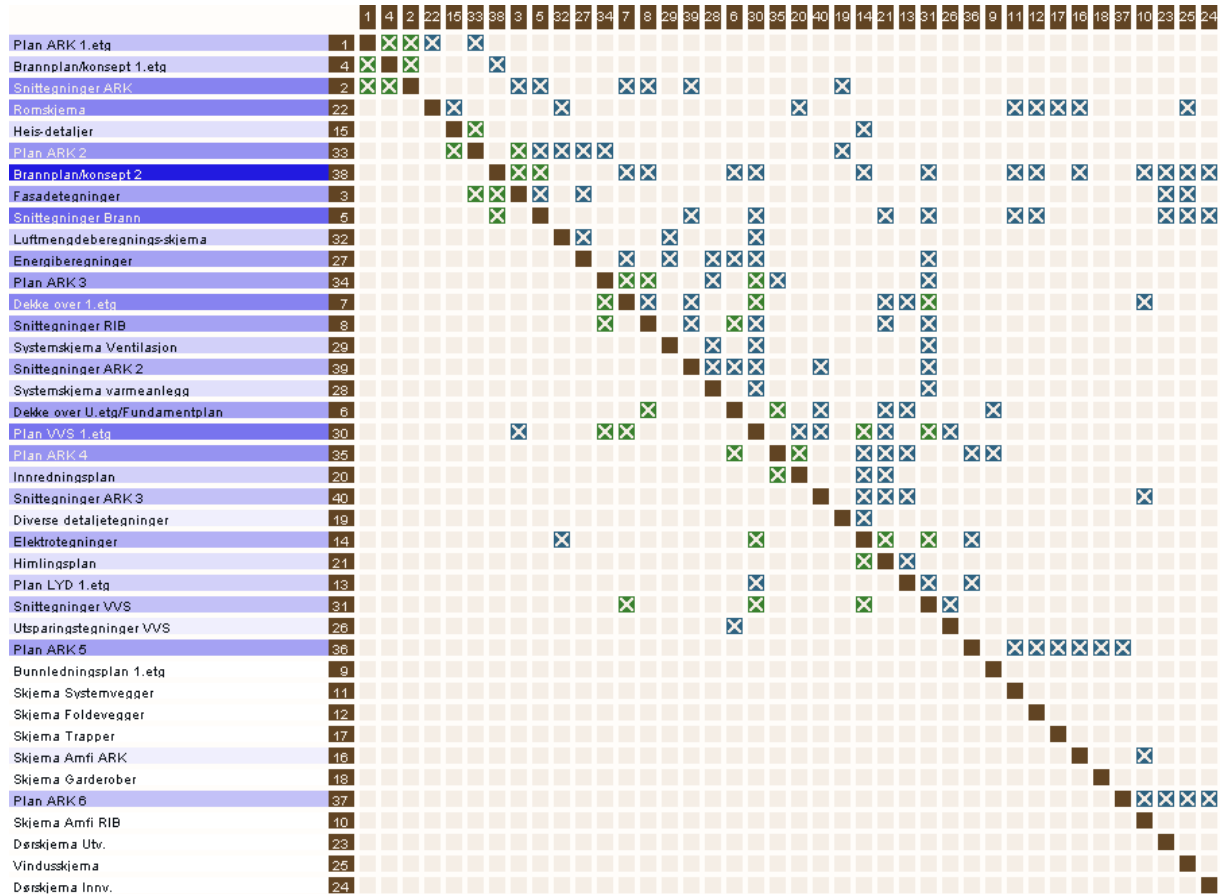
Figur 32 Den faktiske fremdriftsplan som inneholder designaktiviteter i kronologisk rekkefølge (Huovila m. fl, 1995).



Figur 33 DSM ("As-is matrix") med utgangspunkt i den faktiske fremdriftsplanen (Huovila m. fl, 1995).

Det ble laget to konsepter eller forslag til en ny DSM. Det første konseptet (konsept 1) baserer seg på å dele de «store» tegningene, som f.eks. «Plan ARK (1)» inn i flere faser, (her kalt plan 1, plan 2 osv.) og «fordele» de tilhørende avhengighetene ut på de ulike fasene, slik som vist i Figur 34. Etter å ha gjort noen forsøk på dette konseptet, ble det observert at kryssene samlet seg nærmere diagonalen. Til sammenligning ga resultatene av den partisjonerte DSM med komplette tegninger som systemelementer en stor firkant der avhengighetene var spredt

utover hele matrisen. Det er viktig å understreke at denne fremstillingen kun er laget for å illustrere hva som kan komme til å skje, og derfor ikke er basert på datagrunnlag. Likevel illustreres poenget med at å dele tegninger opp i flere faser/aktiviteter kan synes å gi mer hensiktsmessige systemelementer.



Figur 34 Enkelte store tegninger er delt opp i flere faser.

Det andre konseptet (konsept 2) fremkommer av Figur 35, og utgangspunktet for dette er aktiviteter og beslutninger. Hensikten med dette konseptet var at det skulle gjenspeile et mer korrekt bilde av hvordan en prosjekteringsprosess faktisk skrider frem, ved å dekomponere prosjekteringsprosessen i aktiviteter (som en typisk fremdriftsplan, iht. Huovila m.fl., 1995). Konseptet ble laget med utgangspunkt i et prosesskart utviklet av Skanska, spesielt for BIM (se vedlegg 4). Prosesskartet viser grovt de ulike aktivitetene/beslutningene som gjøres i hver enkelt fase av prosjekteringen. Aktivitetene/beslutningene ble overført fra dette BIM-prosesskartet og listet opp etter ulike disipliner (markert i forskjellige fargevalør). Aller helst skulle aktivitetene/beslutningene vært oppført i kronologisk rekkefølge og tilnærmet slik prosjekteringsprosessen går, men dette bør helst utføres i samarbeid med

prosjekteringsgruppen. Det ble imidlertid ikke tid til dette. Et annet mål med dette forslaget var å prøve å fange opp når endelige beslutninger må tas.

12.2.1 Evaluering av forslag til ny DSM med prosjekteringsgruppen

De to forslagene/konseptene ble presentert for prosjekteringsgruppen for å få respons og tilbakemeldinger på hvordan de så for seg at disse konseptene ville fungere som systemelementer i en ny DSM. Videre hvorvidt de ulike konseptene ville være en god beskrivelse av prosessens fremdrift. Det var også interessant å få belyst hvilken av de to konseptene de mente ville være mest hensiktsmessig å gå videre med, dersom man skulle foreta et nytt forsøk på en DSM-analyse. Konseptene ble hengt opp på veggen i A3-format, der hensikten var å involvere alle, og få til en aktiv diskusjon.

De prosjekterende mente disse forslagene var et steg i riktig retning kontra å satse på tegninger. På spørsmål om hvilket av konseptene de hadde mest tro på, og som virker mest hensiktsmessig å gå videre med, var det enighet om at dette var konsept 2. Dette begrunnet de med at konseptet var mest logisk og mest lik prosessen slik den foregår i virkeligheten, og at det ville være mye lettere for dem å komme med videre innspill på en slik inndeling.

For å få en mest mulig logisk gang i dette, foreslo prosjekteringsleder å lage en detaljert matrise med utgangspunkt i konsept 2, for så å etablere en egen matrise for tegningsleveranser på bakgrunn av den detaljerte matrisen. Dette mente også arkitekten kunne være en god idé. For å sitere arkitekten: «Når denne listen med aktiviteter tunes og utbedres, så kan vi begynne

| B0 | Ansvarlig |
|--|-------------------|
| Konsept Plan (Grunnmodell) | ARK |
| Innspill brannkonsept | Brann |
| Innspill lydkonsept | LYD |
| Innspill energi | Energi (evt. RIV) |
| B1 | |
| Forslag til bæresystem | |
| Utkast romprogrammering (funksjonsbeskrivelse) | |
| Plassering av trapp/heis (evt. badkabiner) | ARK |
| Hovedprinsipp fasade (utkast) | |
| Forslag til himlingshøyde | |
| Ide og innspill om bæresystemet | |
| Rådgivning plassering av trapp/heis | RIB |
| Bygningsavstiving Rådgivning om bygningsavstivning | |
| Første utkast bæresystem | |
| Innspill plassering og volum av teknisk rom | |
| Plassering av sjakter | RIV |
| Føring fra tilkobling bygg til teknisk rom | |
| Føringer fra teknisk rom til sjakt | |
| Vertikale føringer i sjakt | |
| Innspill plassering/volum teknisk rom | |
| Plassering av sjakter | RIE |
| Føring fra tilkobling bygg til teknisk rom | |
| Føringer fra teknisk rom til sjakt | |
| Vertikale føringer i sjakt | |
| Innspill plassering/volum teknisk rom | |
| Plassering av sjakter | RIV rør |
| Føring fra tilkobling bygg til teknisk rom | |
| Føringer fra teknisk rom til sjakt | |
| Vertikale føringer i sjakt | |
| Bunnledning | |
| Luftmengdeberegningsskjema | |
| Innspill plassering/volum teknisk rom | |
| Plassering av sjakter | RIV sprinkel |
| Føringer fra teknisk rom til sjakt | |
| Vertikale føringer i sjakt | |
| Kontroll 1 (kollisjonskontroll) | ALLE |
| B2/B3 | |
| Utkast yttervegger, innervegger, gulvsystem, tak | |
| Fastsetting funksjonsrom/type | ARK |
| (Finplassering av eventuelle badkabiner) | |
| Kontroll av himlingshøyde mot tekniske føringer | |
| Kvalitetssikring av sjakter | |
| Bæresystem i fasade | RIB |
| Modellering av utsparinger vegg | |

Figur 35 Her er et utklipp fra det foreslåtte konseptet med aktivitetsbasert inndeling

å omsette når de ulike tegningene leveres.» Videre likte de også idéen med å dele prosjekteringen inn i faser, for tydeligere å få frem når de enkelte beslutninger må være på plass. I den forbindelse uttalte prosjekteringsleder: «Før plantegningen kan gå videre fra fase B1 til B2, så må visse beslutninger være på plass».

Et aspekt som kan være praktisk å inkludere i DSM, er en beslutningsplan med endelige beslutningspunkt i ulike faser. Ved å dele prosjekteringsprosessen opp i faser kan man definere hvilke beslutninger som må låses i hver fase før man kan gå videre til påfølgende fase. For eksempel er det interessant å finne ut når plantegningen skal låses for brukerne når det gjelder påvirkning på romprogrammet. Dersom det må gjøres store endringer sent i prosjektet blir det som oftest dyrt, derfor er det ønskelig at brukerne må legge premissene sine tidlig før detaljprosjekteringen, for så at disse premissene ivaretas gjennom videre prosjektering. På en annen side må ikke for mange beslutninger låses for tidlig. Det som er sentralt, er å kartlegge hvilke beslutninger man kan ta, uten at dette får konsekvenser senere i prosjektet. I forbindelse med et prøveprosjekt innenfor trimmet bygging hvor man laget en beslutningsplan, ble det konkludert med at man gjorde for mange detaljerte beslutninger for tidlig i prosjektet (Byggekostnadsprogrammet, 2010). KS-leder i Skanska oppsummerte det som her er sagt på en god måte:

«Vi har behov for mer kontroll på beslutningsprosessen i designfasen!»

Det ble også påpekt at ved å gå for konsept 2, så kunne man lettere få frem hvilke aktiviteter som inngår i såkalte «iterasjoner» eller «designlooper». Som beskrevet i analysen, lot dette seg ikke illustrere ved å benytte tegninger som systemelementer, fordi det endte opp med at de fleste systemelementene (tegningene) inngikk i en stor «designloop».

Nedbrytingen av prosessen, inn i aktiviteter, har kanskje vært det aspektet som har vært diskutert av forfatterne og veiledere flest ganger, og som derfor har vært opplevd som den vanskeligste delen av prosjektet. Den delen har virkelig skapt mye hodebry.

Dersom DSM skal utføres i praksis, kan det være hensiktsmessig at de hovedansvarlige for hver tegning, selv bryter ned sine egne tegninger i konkrete aktiviteter som kan overføres til en matrise. Dette kan gjøres eksempelvis i et møte. Det gir mulighet til å diskutere eventuelle

problemer som måtte dukke opp, avgrensninger, og avklare eventuelle uklarheter ved dekomponeringen. Et viktig poeng når man dekomponerer prosessen er å tenke at man skal kartlegge avhengighetene mellom aktivitetene. De prosjekterende bør derfor ha dette i bakhode når de identifiserer sine aktiviteter.

Ifølge Kalsaas, Skaar, & Thorstensen (2010) starter de fleste metodene for planlegging med å finne egnede aktiviteter. En vanlig måte å gjøre dette på, er å benytte «Work Breakdown Structure» (WBS) for å bryte prosjektet ned i en egnet struktur. Kalsaas m.fl. (2010) forklarer videre at denne metoden baserer seg på at man bryter aktivitetene/ prosjektet ned i ulike nivå og hvor en på nederste nivå sitter igjen med håndterlige aktiviteter. Aktivitetene er så satt opp i en plan basert på grensesnittene og avhengighetene mellom dem.

Det å skulle implementere DSM som et verktøy i byggprosjektering vil være en krevende prosess. Det er en læreprosess, hvor det er viktig å få med alle aktørene. Det vil kreve tålmodighet fra de som skal iverksette dette. Et aspekt er hvor detaljert man kan bryte ned prosessen før det blir for tidkrevende og upraktisk.

12.3 Kommunikasjon og informasjonsflyt i prosjektet

12.3.1 Asymmetrisk informasjon

Asymmetrisk informasjon skal i denne sammenheng forstås som aktører med ulik tilgang på informasjon om forhold som er av betydning.

Under intervjuene med de prosjekterende, hadde de to første spørsmålene følgende ordlyd:

1. Hvilke tegninger er du avhengig av for å lage hver enkelt av dine egne? (Det må spesifiseres hvilke tegninger som gir input til hvilke)
2. Hvilke av dine tegninger gir output som blir input til andre tegninger? (Det må spesifiseres hvilke tegninger som gir input til hvilke)

Svarene det andre spørsmålet gav, var interessant å sammenligne med informasjonen gitt i spørsmål 1. En sammenligning av svarene viste at det forekom en del asymmetrisk informasjon eller avvik. Det vil illustrere hva som menes ved hjelp av noen eksempler. Etter eksemplene følger en matrise som viser alle avvikstilfellene.

Eksempel på den første typen avvik: RIB mente at hans tegning for «D. O. U.etg./Fundamentplan» ville være input til RIV når han skal lage sine utsparringstegninger. Derimot svarte RIV at RIB'ens «D. O. U.etg./Fundamentplan» ikke var en input han trengte for å lage sine utsparringstegninger. Dermed var det her et avvik (se kolonne 26, rad 6 i Figur 36). Alle avvik av denne typen, er i matrisen under (Figur 36) markert med en v og har fått gul bakgrunnsfarge. Det viste seg likevel, etter at RIV ble konfrontert med dette avviket, at han var avhengig av denne tegningen. Derfor må det her ha skjedd en glipp eller forglemmelse under intervjuet.

Eksempel på den andre typen avvik: LYD svarte at for å lage «Plan 1. etg. LYD» ville han trenge ARK sine «Fasadetegninger». ARK mente ikke/visste ikke at LYD ville ha behov for hans fasadetegninger for å lage «Plan 1. etg. LYD» (se kolonne 13, rad 3 i Figur 36). Alle avvik av denne typen er i matrisen under, markert med en y og har fått rød bakgrunnsfarge. Etter intervjuet, ble ARK igjen spurt spesifikt om dette avhengighetsforholdet, og «bekreftet» at han mente/trodde at LYD ikke ville være avhengig av hans «Fasadetegninger».

Alle de røde merkene illustrerer med andre ord, at det undervurderes for hvem informasjonen som skapes er nødvendig. De gule merkene illustrerer en overvurdering av for hvem informasjonen som skapes er nødvendig, eller så har de som trenger informasjonen, glemt å oppgi den under intervjuene eller glemt at de trenger den. I ytterste konsekvens, kan de gule ha en tredje forklaring. Den går ut på at aktørene kanskje ikke tar hensyn til informasjon de burde tatt hensyn til. De resterende kryssene viser «riktige» vurderinger, dvs. det som er oppgitt som output, er også oppgitt som nødvendig input (illustrert med grønn bakgrunnsfarge).

| | 1 | 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 | 29 | 30 | 31 | 32 | | | |
|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|
| Plan 1. etg. | 1 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | |
| Snittegninger ARK | x | 2 | x | x | y | x | x | x | | y | v | v | x | y | v | v | v | | x | | x | v | v | v | v | | v | | x | x | | | | | |
| Fasadetegninger | x | v | 3 | x | y | | | | | | | | y | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | |
| Brannplan/konsept 1. etg. | x | x | x | 4 | y | x | x | x | | x | x | x | x | v | x | | | | | | v | v | v | v | x | x | v | | | v | x | x | | | |
| Snittegninger brann | v | x | v | x | 5 | v | v | v | | v | x | x | | v | v | v | | | | | v | v | v | x | v | x | x | v | | | v | x | x | | |
| D.O. U.etg./Fundamentplan | x | y | | | | 6 | | y | x | | | | y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dekke over 1. etg. | x | y | | | | | 7 | y | | y | | | y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | y | y | | |
| Snittegninger RIB | y | x | | | | | | 8 | | | | | y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | y | y | | |
| Bunnledningsplan 1. etg. | | | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Skjema amfi RIB | | | | | | | | | | 10 | | | | | | | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Skjema systemvegger | v | | | | | | | | | | 11 | | y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Skjema foldevegger | v | | | | | | | | | | | 12 | y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plan 1. etg. Lyd | x | v | | | | v | v | v | | v | v | v | 13 | | | | | | | v | | v | | | v | | | | | | | y | y | | |
| Elektrotegninger | x | | | | | | | | | | | | | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | y | x | y |
| Heisdetaljer | y | v | v | | | v | v | v | | | | | | x | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | v | v | |
| Skjema amfi ARK | | | | | | | | | | | y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Skjema trapper | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Skjema garderober | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diverse detaljtegninger | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Innredningsplan | y | | | | | | | | | | | | | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | v | v | | |
| Himlingsplan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Romskjema | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dørskjema utvendig | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dørskjema innvendig | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vindusskjema | v | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Utsparingstegninger VVS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Energiberegninger | v | | v | | | | y | y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Systemskjema varmeanlegg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Systemskjema ventilasjon | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plan 1. etg. VVS | x | y | y | | | | | x | v | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Snittegninger VVS | v | | | | | | | x | v | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Luftmengdeberegningsskj. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figur 36 Avvik i oppfatning om output og input

Antallet røde og gule «firkanter», i dette tilfellet, er nokså betydelig. 70 er røde og 77 er gule. Noen momenter gjør at disse tallene antakelig ikke er 100 % pålitelige, og det må tas med i vurderingen. Den første årsaken til at tallene antakelig ikke er 100 % pålitelige, er at det ikke alltid var helt samsvar mellom svarene for input og output hva gjelder mellom egne tegninger (for de aktørene som hadde flere tegninger å svare for).

La oss igjen ta et eksempel: ARK svarer at for å lage «Plan ARK.» er han avhengig av innredningsplanen sin, men på spørsmålet om hvilke tegninger «Innredningsplan» gir output til, er ikke «Plan ARK» oppgitt. Dette vises i matrisen som et rødt felt. Likevel virker det usannsynlig at ARK ikke selv vet avhengighetene mellom sine egne tegninger, så at det ikke samsvarer skyldes antakelig glipp/slurv med besvarelsen. ARK ble spurt konkret om dette i etterkant, og bekreftet at det var avhengighet mellom tegningene. Likevel er det

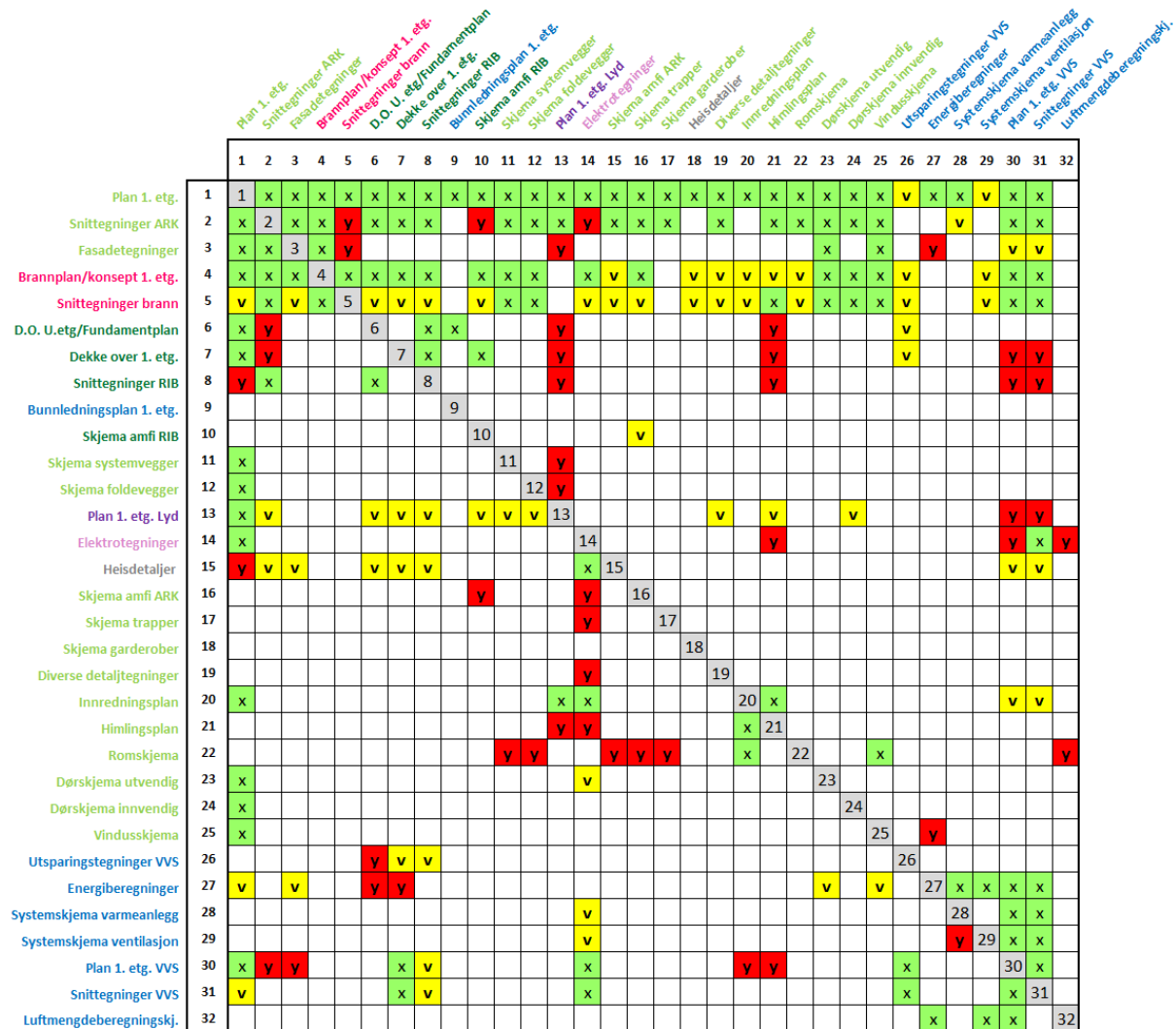
tankevekkende at ARK ikke svarte korrekt og med samsvar på første forsøk. Dette er med å illustrere at det lett kan skje glipp i besvarelsene generelt.

Et annet eksempel: ARK svarte at han ikke trengte input fra fasadetegningene sine for å lage snittegningene sine. Likevel svarte han at fasadetegningen gir output som trengs for å lage snittegningen. Altså to motstridende opplysninger. Dette vises i matrisen som et gult felt. I etterkant spurte vi arkitekten konkret om dette, og fikk da til svar at det var en avhengighet mellom disse tegningene. Det tyder derfor igjen på en glipp eller forglemmelse.

Svar på interne avhengigheter som ikke samsvarer illustrerer en kognitiv begrensning, som bør tas på alvor. Det bør kanskje derfor vurderes metoder for ytterligere å sikre påliteligheten av svarene som blir gitt. Samtidig kan man ved disse eksemplene se hvordan det er vanskelig å holde oversikt over materialet man trenger til enhver tid.

Avvikene som vises (aktørene i mellom), dvs. alle de tilfellene der aktørene overvurderer eller undervurderer sin outputs betydning for de andre aktørene, kan være kilde til, og eventuelt årsak til, manglende kommunikasjon og informasjonsutveksling. Derfor er det laget en ny matrise der kun disse avvikene inngår («interne» avvik er erstattet med «x» og grønn bakgrunnsfarge).

Under noen av intervjuene strakk ikke alltid tiden til for å kunne gå nøye gjennom systemelementene, punkt for punkt. Særlig gjaldt dette for ARK og RIV, som hadde mange tegninger å svare for, og ikke så mye tid til disposisjon. Samtidig, respondentene hadde sin egen liste/matrise foran seg til å lese gjennom og svare ut i fra, så mulighetene for dem til å svare korrekt var til stede. Tidspress kan likevel ha bidratt til overseelser eller slurv med besvarelsene. Likevel var det interessant å se hvor mange avvik som fantes, siden det vil være sannsynlig at en del av dem stemmer.



Figur 37 Avvik i oppfatningen om input og output (uten "interne" avhengigheter)

Matrisen uten «interne avvik» har 52 «røde kryss» og 61 «gule kryss». Fortsatt et betydelig antall. De avhengighetene der aktørene gjør riktig vurdering i forhold til andres bruk av egen output, er nå markert med grønn bakgrunnsfarge for å synliggjøre disse også litt mer. Dette illustrerer at man antakelig med fordel, kunne vært mer opplyst om hverandres informasjonsbehov i starten av prosjekteringen, slik at aktørene ble mer klar over hvem som er avhengig av hvem til enhver tid. Videre er det så spørsmål om det å foreta en slik kartlegging som dette, vil kunne gi besparelser i prosjektet, som en følge av forhåpentligvis bedre kommunikasjon og informasjonsutveksling. Det vil i neste kapittel blant annet bli presentert hva de ulike aktørene i prosjekt Søndeled mente om hvordan kommunikasjonen og informasjonsutvekslingen fungerte i prosjektet.

12.3.2 Behovet for styring av kommunikasjon og informasjonsutveksling

Kommunikasjon og informasjonsutveksling er en særdeles sentral del av en prosjekteringsprosess. Man kan ha en perfekt fremdriftsplan for hånden, men den vil ikke ha noen nytte dersom ikke kommunikasjonen og informasjonsutvekslingen fungerer. Som nevnt tidligere, så er kommunikasjon og mangel på kommunikasjon, den enkeltfaktor som fører til de største negative resultatene i byggeprosjekter. Det er viktig at aktørene vet hvem som trenger informasjon fra dem til hvilken tid, og også at de vet hvilken informasjon de må gi/hva de må kommunisere med de andre, for å skape et resultat av prosjekteringen som blir levert til riktig tid, samt uten feil og mangler. Desto mer komplekst et prosjekt er, desto mer kommunikasjon kreves. Samtidig må det sørges for at tiden man har til disposisjon ikke overskrides, og derfor er det også viktig at både informasjonsutvekslingen og det som kommuniseres, ikke er overflødig slik at kritisk tid sløses. Motivasjon, styring og kontroll, koordinering og beslutningsfatning er betydningsfulle virkninger av kommunikasjon som gjør at kommunikasjon er viktig å fokusere på.

DSM vil kanskje kunne være med å bidra til at de prosjekterende blir mer bevisste på hvem de må kommunisere med, samt utveksle informasjon med, slik som matrisen i forrige kapittel viste. I tillegg kan det muligens være et styringsverktøy som prosjekteringsleder kan benytte for å koordinere/kontrollere kommunikasjonsflyten og informasjonsflyten. Det var derfor interessant i denne oppgaven å forsøke å finne ut hvordan kommunikasjonen fungerer mellom de ulike prosjekterende i prosjekteringsfasen. Alle aktørene ble under intervjuene spurt om hvordan de mente kommunikasjonen og informasjonsutvekslingen fungerte dem imellom, og om kommunikasjonskanalene (i prosjekt Sønedeled skole). I tillegg svarte de også på hvor mye de kommuniserer med de enkelte aktører, samt hvordan.

Matrisen som viser avvik i oppfatning om input – output, og svarene fra intervjuene som omhandler kommunikasjon og informasjonsutveksling, gir en indikasjon på at det kanskje kan finnes et behov for et verktøy til å styre/bevisstgjøre om kommunikasjon- og informasjonsutveksling. Imidlertid, krever det å foreta kartleggingen tid fra alle aktørene, noe som er svært kostbart. Det må derfor vurderes nøye hvorvidt et slikt verktøy vil svare seg å ta i bruk i forhold til tidsforbruk(kostnad) og nytte.

12.3.3 Resultat angående kommunikasjon og informasjonsutveksling

Samtidig som vi utførte intervjuene som gikk på å registrere avhengigheter i DSM, foretok vi en kartlegging av hvordan kommunikasjonen og informasjonsutvekslingen i prosjekt Søndeled foregikk, ved hjelp av et enkelt kommunikasjonsskjema (se vedlegg 3).

Når det gjaldt kommunikasjonshyppigheten i prosjektet mellom de prosjekterende, så gikk det mye igjen i resultatene etter intervjuene, at mange av de prosjekterende sjelden har noen form for kommunikasjon med hverandre utenom prosjekteringsmøtene. De fleste oppgav at kommunikasjon finner sted når det er behov, eller sjelden. Noen unntak fantes selvsagt, der det var snakk om ukentlig kommunikasjon, men i de store linjer så var det stort sett kommunikasjon gjennom prosjekteringsmøter og via prosjekteringsleder. Det ble i flere tilfeller snakket om at det meste av kommunikasjon helst skulle gå gjennom prosjekteringsleder, og det ble nevnt at han skulle ha føring på den interne kommunikasjonen og hvor mye kommunikasjon som skulle foretas, slik også Erlie (2003) påpeker.

E-post ble nevnt særlig ofte som benyttet kommunikasjonskanal. Noen nevnte også at telefon i tilfeller blir brukt. Enkle spørsmål ble i følge noen av og til besvart over telefon. Et par antydte at det en eller to ganger kunne forekomme møter to aktører imellom, hvor man diskuterte løsning av komplekse problemer. Ifølge respondentene ble problemstillinger som oppsto under prosjekteringsmøtene, ofte avklart i etterkant av møtet over e-post eller telefon.

På spørsmål om hvorvidt aktørene skulle ønske de hadde hatt mer samhandling med noen, hadde flere spesifikke ønsker om mer kontakt med bestemte. En nevnte at han kunne ønsket seg mer kontakt med alle. Deres oppfatninger om årsaken til hvorfor det ikke var like mye kontakt som ønsket, var i all hovedsak kapasitet, tidspress og størrelse på honorar. En av aktørene ville gjerne også vært involvert tidligere i prosjektet og mente det kunne gitt ham tidsbesparelse og redusert arbeidsmengde. Videre ville det også kunne frigitt tid, slik at han hadde hatt mulighet til å føre kontroll med om hans krav ivaretas. To av aktørene hadde et spesielt ønske om å kunne jobbe tettere opp mot hverandre i perioder, eksempelvis samlokalisert, men antydte at tidspress og for mange prosjekter pågående parallelt hindret dem fra å gjøre det. Dette er likevel et paradoks, i og med at det ikke nødvendigvis trenger å ta lengre tid å gjøre prosjekteringen sammen. Tidspress ble nevnt av samtlige av de intervjuede som et problem, med ønske om mer tid i hvert prosjekt.

Prosjekthotellet som informasjonsutvekslingskanal fikk stort sett gode tilbakemeldinger fra de fleste intervjuede. Det eneste som ble påpekt, var at det fantes en risiko for å «snuble over» gamle og udaterte tegninger i hotellet. Videre ble det også påpekt at det kunne eksistert et bedre system for merking av filene, slik at risikoen for å hente ut utdaterte dokumenter blir redusert. Det å sende e-post ble av noen, ansett som det «tryggeste».

Videre så fikk likevel Skanska som ansvarlig for prosjektet, og Skanskas prosjekteringsleder, svært mange gode tilbakemeldinger fra de intervjuede. Og det, i kontekst av at det også ble nevnt at prosjekteringslederrollen er blitt mye mer kompleks. Det ble nevnt at Skanska er proffe på ledelse av prosjekteringen, og deres innføring av Last Planner System som et involverende planleggingsverktøy, ble av noen omtalt med positive ord.

Det ble nevnt et tilfelle i prosjekteringsfasen, som kan ha forringet prosjektet, der årsaken kan ha vært dårlig kommunikasjon. Det gjaldt dette med brannsikring/rømning og planløsning, hvor man muligens, med litt bedre kommunikasjon, kunne kommet frem til en bedre løsning for tilfredsstillelse av brannkravene.

Videre stilte en annen aktør spørsmålsteget med hvor mye de andre aktørene leste og tok hensyn til hans utarbeidede dokumenter. Det kunne virke som at han heller ikke hadde oversikt over hvorvidt de andre aktørene tok hans krav alvorlig. Han snakket videre, om at dersom det ble gjort feil i forhold til disse kravene, så kunne det komme til å koste prosjektet mye penger å utbedre. Hans krav var, ifølge ham selv, blant de som koster mest å utbedre dersom de ikke blir tilstrekkelig tatt hensyn til.

Alt i alt, så gav intervjuene inntrykk av at kommunikasjonen i prosjektet ikke er optimal. Mange av aktørene kommuniserer svært sjelden, og kommunikasjonen har vist seg å «feile» på minst to områder. Spørsmålet er hva dette vil komme til å koste prosjektet? Enda vet man ingenting om hvordan prosjektet vil gå, ettersom byggingen enda ikke er startet. Samtidig så er ikke prosjektet av de mest kompliserte og omfattende. Aktørene virker tilsynelatende til å ha kontroll på det de holder på med, og henter ut det meste av informasjonen de trenger fra de andre via prosjekthotellet. Videre, har mange av aktørene arbeidet sammen i prosjekter mange ganger før, de kjenner hverandre derfor godt, og har fått til et godt samarbeid. Stemningen

under prosjekteringsmøtene er særdeles god. Samtidig: en barneskole, som det her er snakk om, har mange krav som skal tilfredsstilles, slik at det kreves likevel en del av aktørene for å få koordinert alle kravene de må tilfredsstillere.

Intern kommunikasjon er et lederansvar. Det betyr at det er prosjektleder som har ansvaret for å planlegge den interne kommunikasjonen. Erlie (2003) peker på at det krever kunnskap om kommunikasjon, kunnskap om organisasjonen og kunnskap om hvordan menneskene i organisasjonen forholder seg til hverandre. Leder skal sørge for at medarbeiderne vet hva de skal gjøre, og at de har informasjonen de trenger for å nå målene. At man ved å ha en god intern kommunikasjon kan unngå dobbeltarbeid, få bedre flyt, større engasjement og større kreativitet blant medarbeiderne, er alt argumenter som taler for at det vil være verdt å gjøre et forsøk med å forbedre kommunikasjonen. Og dersom DSM-matrisen kan gi et bidrag som fører til at leder for bedre kontroll og styring med hvem som skal ha hvilken informasjon og kommunisere til enhver tid, så er det ikke så usikkert at det vil kunne gi prosjektet en høyere suksess, og dermed være verdt å satse på. Kommunikasjon er likevel ikke bare til for å formidle fremdrift og informasjon. Dette understreker at DSM som styringsverktøy ikke er tilstrekkelig alene for å håndtere kommunikasjonen. Å jobbe sammen mot et felles mål, drive oppmuntring og gi konstruktiv kritikk er også viktige aspekter ved kommunikasjon som kan bidra til suksess med prosjektet, som man heller ikke må glemme.

12.4 Evaluering av DSM

For å kunne avgjøre om DSM er en egnet metode å anvende i byggprosjektering, bør metoden kunne bidra til kontroll og forutsigbarhet i prosjekteringsprosessen, slik at det blir mindre grad av forsinkelser og feil/mangler med tegningsleveransene. Dersom DSM bidrar til bedre koordinering av prosjekteringsprosessen, gjennom bedre informasjonsflyt og kommunikasjon, vil mye være lagt til rette for at man skal kunne oppnå en suksessfull prosjektering.

I tillegg må metoden være såpass brukervennlig at prosjekteringsledere ønsker å benytte den. Et annet sentralt aspekt er hvor mye tid som går med til gjennomføring av metoden, mot den nytten man oppnår. Nyttien må være større enn hva metoden koster å gjennomføre.

Undersøkelsene som er foretatt i denne oppgaven er ikke egnet til å gjøre en vurdering på dette aspektet, men det er likevel noe som er høyest aktuelt å undersøke nærmere dersom metoden blir å anse som nyttig.

12.4.1 DSM–et nyttig verktøy for å oppnå høyere grad av forutsigbarhet, kontroll og styring av prosjekteringsprosessen?

Matrisen (DSM) som ble satt opp visualiserer informasjonsflyten mellom tegningene på en god måte. Her ser man hvilke tegninger som produserer input for andre tegninger og hvilke tegninger som er avhengig av hverandre. Dette kan bli brukt til å identifisere hvilke aktører som må informeres når det skjer en endring i designprosessen. Det er imidlertid ikke prøvd ut i praksis å benytte DSM som et verktøy i forhold til endringer, og for å se om DSM kan være egnet til slikt bruk, må det nødvendigvis prøves ut på noen prosjekter. Konsekvensen av endringer er ofte at de gir ringvirkninger, og at flere aspekter ved designet påvirkes. Det hadde derfor vært en fordel å visualisere informasjonsflyten mellom mer konkrete beslutninger eller designaktiviteter, for å se mer spesifikt hva på tegningene som påvirkes av endringer.

Det å kartlegge avhengighetene mellom tegningene var i utgangspunktet veldig sentralt for denne oppgaven. DSM som metode gjorde at vi på en enkel og ryddig måte kunne foreta kartleggingen. Avhengighetene mellom tegningene ble kartlagt systematisk og belyser hvilke tegninger, dermed hvilke aktører, som er gjensidig avhengige. Dette kan være et nyttig verktøy for prosjekteringsledere i forhold til å forutse «høna og egget»-problemer og planlegge proaktivt. For å løse slike problemer kreves det ofte informasjonsutveksling gjennom tettere samarbeid, og ofte flere iterasjoner av designet, for å komme fram til en akseptabel designløsning. Prosjekteringsleder kan dra nytte av å vite når slike møter er nødvendig. Dog vil det, igjen, trolig være mer hensiktsmessig å kartlegge avhengighetene mellom ulike aktiviteter, og ikke direkte mellom tegningene..

Det ble også identifisert ut fra matrisen hvilke tegninger som produserer informasjon (output) for hvem. Huovila m.fl. (1995) forfatter at aktiviteter som produserer informasjon (output) for andre aktiviteter kan bli identifisert ved DSM. Slike aktiviteter er kritiske brikker i designprosesser, og det presiseres at slike krever ekstra oppmerksomhet. Selv om det i denne oppgaven ble benyttet tegninger fremfor aktiviteter, var det lett å se hvilke tegninger som var kritiske, for eksempel plan og snitt.

De resiproke avhengighetene mellom tegningene fremkommer også av matrisen (grønne kryss), men dog ikke like ryddig og oversiktlig som DSM-metodikken legger opp til. Det var

ønskelig å få kartlagt de resiproke avhengighetene i «blokker» langs tidslinjen (diagonalen). På denne måte kunne prosjekteringsleder bli bevisst på hvilke designaktiviteter som krever ekstra oppfølging, og som potensielt genererer iterasjoner, og deretter planlegge proaktivt. Derimot resulterte analysen i én stor blokk, som ikke kunne rives («tearing») i mindre hensiktsmessige blokker. Skulle dette fungert måtte tegningene sannsynligvis vært delt opp i mindre deler (f.eks. aktiviteter). Dette resulterte i at andre optimaliseringsteknikker som blant annet «tearing» ikke ble benyttet i analysen. Da tegninger ikke er en aktivitet, men mer et resultat av en prosess som inneholder mange sub-aktiviteter, lot det seg ikke gjøre å sekvensere tegningene (systemelementene). Som konsekvens av dette lyktes det heller ikke å identifisere en forbedret (optimal) sekvens for tegningsproduksjon, da tegninger sannsynligvis ikke egner seg i DSM i forhold til å finne forbedringer relatert til fremdrift. Det ble med andre ord ikke mulig å teste ut DSM-metodikken til fulle og utnytte potensialet som ligger i dette verktøyet.

Det skal imidlertid, ifølge flere forfattere (Choo, Hammond, Tommelein, Ballard, & Austin, 2003), være mulig finne en bedre sekvens for en fremdriftsplan (optimal sekvens). Med en mer hensiktsmessig inndeling, som foreslått, vil man sannsynligvis kunne oppnå identifisering av blokker og optimal sekvens på designaktiviteter. Som tidligere nevnt, kan blokker som identifiseres i fremdriftsplanen, gjøre det lettere legge opp til håndtering av resiproke avhengigheter gjennom gjensidig tilpasning, vha. eksempelvis møter. Dermed kan man med fordel også nøyere vurdere hvorvidt man skal fortsette med prosjekteringsmøter hver 14. dag, eller om det vil være mer hensiktsmessig å foreta møtene tettere i forbindelse med perioden hvor «blokkene» er indikert.

Koskela, Ballard, og Tanhuanpää (1997) fremhever at det er en iboende begrensning i det å bestemme den optimale rekkefølgen av aktiviteter. Spesielt i de tidlige fasene av et designprosjekt. Dette er fordi den optimale rekkefølgen kan være avhengig av at en design beslutning skal gjøres. Mange valg som påvirker fremdriftsplanen tas underveis i prosjekteringen. For eksempel så krever plasstøpte konstruksjoner en annen rekkefølge av aktiviteter, enn i tilfelle ved prefabrikasjon. Det som imidlertid er viktig, er å fastsette den optimale (eller i nærheten av optimale) rekkefølgen til aktiviteter i nær fremtid, eksempelvis de neste 2-4 ukene. Dette bør være mulig gjennom en DSM-analyse (Koskela, Ballard, & Tanhuanpää, 1997).

For undersøkelsene som er gjort i denne oppgaven, er det forutsatt at alt prosjekteringsarbeid gjøres ferdig før byggingen starter, dvs. det har ikke blitt tatt hensyn til at enkelte tegninger muligens må leveres før andre, for å ivareta fremdriften på byggeplass. Det vil si, i oppgaven er det satt fokus på å finne en løsning for hvordan prosjekteringen isolert sett kan sekvenseres på en best mulig måte, uten å måtte ta hensyn til at noen tegninger muligens må leveres før andre. Siden det er blitt vanlig i større byggeprosjekter å forsøke å korte ned byggetiden gjennom å utføre prosjektering og bygging som tidsmessig delvis parallelle aktiviteter, burde det også vært testet ut hvorvidt DSM også vil kunne ivareta denne problemstillingen. Samtidig, DSM vil kanskje forhåpentligvis, til en viss grad, redusere tiden som må brukes til prosjektering, slik at man ikke i like stor grad behøver å foreta parallell bygging og prosjektering.

Man må også huske på at en DSM-modell ikke gjør koordineringen mer effektiv dersom man ikke bruker verktøyet aktivt. Choo, Hammond, Tommelein, Ballard, og Austin (2003, s. 4) påpeker at dersom man ikke bruker DSM som et styringsverktøy, vil det sannsynligvis føre til at prosjekteringsgruppen ønsker å gå tilbake til mer tradisjonelle metoder:

“Effective planning of the design process is the first step in improving design management, however, if not carefully controlled, design teams may be tempted to revert back to more traditional methods of management, leading to significant inefficiencies due to poor information flow, and the inappropriate allocation of resources.”

For å validere DSM, kan det være nyttig registrere hva slags resultater denne metoden gir i forhold til forsinkelser i produksjonen. Dette kan f.eks. gjøres ved å måle leveransedyktighet. I en rapport (Byggekostnadsprogrammet, 2010, s. 9) ble dette gjort:

«Leveransedyktigheten til de prosjekterende ble målt i prosjekteringsmøter hver 14. dag. Ved å visualisere og måle leveranser og involvere de prosjekterende i utarbeidelse og justering av planene fikk man betydelig trykk på fremdriften til de prosjekterende»

Unøyaktige eller manglende opplysninger i forhold til kartleggingen av avhengigheter i en DSM kan gi store konsekvenser for validiteten til den restrukturerte matrisen. Eksempelvis så

vi dette da skjemategningen for garderober ikke var blitt registrert med noen avhengigheter. Dette gav en urealistisk rekkefølge, da DSM analysen plasserte den som nummer én. Da skjemategningen ble gitt en avhengighet til plantegningen, ble denne plassert betydelige lenger ned på tidsaksen. Dette illustrerer at en DSM er «følsom» for små endringer. Det er derfor viktig å være kritisk under kartleggingen av avhengigheter og til de resultatene restruktureringen gir.

Det er lite sannsynlig at DSM-metodikken kan forbedre prosjekteringsprosessen alene, men den kan være et bidrag til mer effektiv prosjektering. Et sentralt moment er hvorvidt DSM tar hensyn til uforutsigbarheten og variabiliteten i arbeidet. Dette er et moment som ikke er blitt særlig belyst i denne oppgaven, men ut fra det teoretiske grunnlaget og de erfaringer som er gjort, kan det se ut som at DSM ikke ivaretar denne uforutsigbarheten alene. En løsning kan derfor være å benytte den i sammen med andre initiativer, eksempelvis Last Planner System (Koskela, Ballard, & Tanhuanpää, 1997). Choo m.fl. (2003) foreslår en metode som integrerer DSM og LPS. Denne blir kalt DePlan. Last Planner System (LPS), har som nevnt, en ikke-deterministisk tilnærming til planlegging, og fanger opp den iboende dynamikken som er i byggebransjen. Den hjelper prosjektledere og øvrige aktører til å systematisk fjerne hindringer på aktiviteter gjennom utviklingsplaner som forsyner produksjonen med sunne aktiviteter. Metoden er imidlertid under utprøving i byggprosjektering, men det kan være interessant å se nærmere på en integrasjon av DSM og LPS.

12.4.2 Tidsperspektiv for bruk av DSM og brukervennlighet, -omstendelig verktøy eller nyttig/effektivt?

«DSM-analyser av designprosesser krever innsamling av data gjennom inspeksjon av tegninger (modeller, designdokumenter) og intervjuer med de prosjekterende (designere).

Dette er ofte en iterativ og tidskrevende prosess.» (Pektaş & Pultar, 2006, ss. 109-110)

I vurderingen av om DSM som verktøy kan bidra til høyere grad av forutsigbarhet, kontroll og styring i prosjekteringsprosessen, vil det også være av interesse å vite noe om tidsforbruk ved å utøve bruk av verktøyet. Selv om verktøyet potensielt viser seg å bidra til mer effektiv prosjektering, så må det tas en vurdering på om den tiden som brukes for å finne eventuelle forbedringer vha. DSM, tas igjen ved at man vinner tid/eventuelt unngår feil på tegninger osv. Fra entreprenørens perspektiv er det til syvende og sist egentlig spørsmål om hvorvidt man kan spare penger og tid, evt. tjene mer penger, ved å innføre bruk av DSM i

prosjekteringsprosessen. Den tiltenkte hensikten med dette kapittelet er hovedsakelig å dele erfaringer, som ble gjort i dette prosjektet, dersom andre eventuelt vil forske videre på temaet. Det var også et særlig ønske fra veileder i Skanska at det ble satt opp estimater for hvor mye tid det vil ta å innføre, samt benytte DSM i prosjekteringsprosessen.

Mye tid er under denne oppgaveskrivingen blitt benyttet til å finne ut mer om hva DSM er, og hvilke muligheter som foreligger ved å bruke det. Atskillige litteratursøk for å finne stoff som omhandler DSM ble gjennomført, og mange artikler om temaet ble gjennomgått. Det krever mye tid å sette seg inn i DSM teori, men det er viktig for å kunne foreta nødvendige analyser. Det meste av litteratur er, per dags dato, engelskspråklig.

Dersom man skal benytte verktøyet i praksis, ville man mest sannsynlig ikke måtte bruke like mye tid på å lese seg opp, spesielt dersom det på forhånd er avklart hvilken type DSM som skal benyttes. Likevel er det i dette prosjektet gjort erfaringer som tilsier at det er viktig for særlig prosjekteringslederen, kanskje også de prosjekterende, å sette seg godt inn i DSM metodikken. Dette for at de skal kunne ha grunnlag for å oppgi så korrekte data som mulig. Det antas at det å implementere DSM, vil være ekstra tidkrevende og kostnadsdrivende fordi alle aktørene bør gjøre seg kjent med metodikken. Etter hvert som aktørene får kjennskap, vil prosessen antakelig gå relativt mye fortere.

Det har, som nevnt tidligere, vært svært vanskelig å finne en god inndeling av prosjekteringsprosessen. Forbruket av tid som har gått med til å sette opp matrisen er vanskelig å tallfeste eksakt, siden dette har vært en lang prosess, og i tillegg har krevd flere revisjoner. Det bør derfor også påberegnes en del tid til å gjennomføre denne fasen. Videre trengs det en del ressurser for å gjennomføre en kartlegging, og ressursene må komme fra de prosjekterende. Å bruke mye av deres tid og kapasitet koster penger. En annen faktor som kan innebære kostnader, er innkjøp av egnet dataverktøy for DSM, og opplæring i bruk dette.

Analyse av resultatene er en sekvens som kan ta mye tid eller lite tid, avhengig av hvor dypt man vil gå med analysen. Mye kan analyseres, og en del analyse vil også være helt nødvendig. I denne oppgaven er det derfor blitt foretatt et utvalg av hva som er blitt analysert. Deler av analyseringen krever også innsats fra de prosjekterende, mens mesteparten sannsynligvis vil bli utført av prosjekteringsleder.

Det vil av tre grunner ikke være mulig å konkludere i denne oppgaven om hvorvidt det vil være hensiktsmessig å benytte DSM som et styringsverktøy i prosjekter i forhold til tidsforbruket:

1. DSM er ikke direkte utprøvd som et styringsverktøy i denne oppgaven, men kun undersøkt i forhold til hvorvidt den kunne gi en forbedret aktivitetsrekkefølge /tegningsrekkefølge til prosjekteringsprosessen, og derav kunne vært benyttet for evt. bedre styring. Dersom matrisen skulle vært testet ut som et styringsverktøy, måtte analysen startet helt i begynnelsen, eller helst før, prosjekteringsprosessen. Videre måtte prosjekteringen vært styrt etter den aktivitetsrekkefølgen som den optimaliserte matrisen har gitt. Som en følge av at skriveprosessen rundt DSM startet midt i prosjekteringsfasen, ble ikke dette mulig, og det var heller ikke intensjonen.
2. Resultatet av prosjektet vil ikke bli klart innen tidsfristen for oppgaveinnleveringen.
3. I og med at prosessinndelingen i denne oppgaven ikke var ideell, er det naturlig nok rimelig å tro at matrisen som fremkom i denne oppgaven uansett ikke ville gitt noe positivt resultat. Det kan likevel tenkes at ved å benytte andre systemelementer ville man kommet til en annen konklusjon.

Det vil antakelig kreve særdeles mye tid dersom man skal teste ut DSM for det nevnte formålet. Som sagt i punktene over, krever det at man innfører DSM helt i starten av prosjekteringsfasen, og følger prosjektet til overlevering av ferdig produkt, slik at man kan se om innføringen av DSM har gitt resultater. Dette kan med andre ord, fort ta flere år.

12.5 Evaluering av tradisjonell fremdriftsstyring i byggprosjektering

Som en sideobservasjon i dette prosjektet, har vi sett at tegninger kan være mindre ideelt å styre etter. Dagens styringsform er basert på tegningsleveranseplan. I forbindelse med vårt funn av at tegninger ikke er hensiktsmessige som systemelementer i DSM, ble både undertegnede og våre veiledere oppmerksomme på at tegninger som styringsform, muligens ikke er ideelt med tanke på fremdriftsstyring av prosjekteringen. Da Design Structure Matrix krever en nedbrytning av prosjekteringsprosessen og en mer sekvensiell logikk, slo det oss at å tenke tegninger og ikke konkrete aktiviteter, kan være en årsak til at byggprosjektering er

ineffektiv. Større fokus og planlegging rundt informasjonsflyt, kan gjøre prosjekteringsarbeidet mer transparent og mer konkret, enn slik prosessen er i dag.

Tegningsleveranseplanen har sin styrke i at den fokuserer på når arbeidstegningene må fremskaffes til byggeplass. Prosjekteringsleder kan dermed lett styre fremdriften etter de oppgitte fristene på tegningsleveranseplanen. Derimot har tegningsleveranseplanen sine svakheter når det kommer til å styre fremdrift og arbeidet til prosjekteringsgruppen.

Tegningsleveranseplanen forteller hvilke prosjekteringstegninger man først må starte med å produsere, men beskriver ikke konkret og stegvis hvordan disse skal bygges opp. En «tegning» blir i så måte en ganske abstrakt oppgave å forholde seg til. Tegninger er produkter av prosjekteringen, og det blir derfor problematisk å betrakte en tegning som én aktivitet.

Choo m.fl. (2003) er også med å påpeke problemene med at planlegging, ledelse og kontroll av prosjekteringsprosessen, i dag er fokusert rundt tegningsleveranser.

Prosjekteringsprosessen planlegges baklengs, vanligvis med utgangspunkt i de avtalte datoene tegningsleveransene skal foreligge hos utførende (entreprenøren) eller kunden. Forfatterne påpeker at denne måten å planlegge på antar at designinformasjon som kreves, er gjort tilgjengelig og kommunisert mellom aktørene, enten uformelt eller formelt. Målet er å få rett informasjon, til rett person, til rett tid. Derimot viser erfaringer, for slik som prosessen er i dag, at dette ofte ikke skjer. Forfatterne (2003, s. 3) foreslår derfor at design burde planlegges, ledes og kontrolleres rundt flyten av informasjon, i stedet for tegningsleveranser:

“Design should be planned, managed and controlled around the flow of information, rather than deliverables, if a co-ordinated and effective solution is to be found. This is a fundamental insight which is increasingly being recognized by the construction industry.”

Det bør derfor diskuteres om man bør tilstrebe i større grad å definere og planlegge mer konkret den informasjonen som skal overføres mellom de ulike aktørene.

Prosjekteringsprosessen har muligens blitt betraktet som mer lineær (sekvensiell) enn den faktisk er. Selv om de fleste med erfaring innen byggprosjektering vet at det er en iterativ prosess, kan det virke som man ikke helt har oversikt over de gjensidige avhengighetene. Det er vanskelig å få total oversikt eller kontroll på hva denne prosessen med å produsere

tegninger innebærer. Selv for de prosjekterende er det vanskelig å få god oversikt over den egentlige gangen og informasjonsflyten i prosjekteringen.

Lars Christian Christensen mener BIM er fremtiden, og vil legge grunnlaget for en ny prosjekteringsprosess (Iversen, 2012, s. 20):

«Med BIM bryter vi opp informasjon i tegningen i mindre deler, som gjør at de prosjekterende kan utveksle informasjon før hele tegningen er ferdig. Det gir grunnlag for nye prosjekteringsprosesser.»

Av dette sitatet fremkommer det, at det kan være fordelaktig å endre måten å planlegge på, og denne BIM-filosofien synes å være ganske sammenfallende med tanken bak DSM. Lars Christian Christensen, senior rådgiver i multiBIM AS, uttaler i en artikkel ført i pennen av Iversen (2012), at den dominerende tenkemåten i byggebransjen er rotfestet i tegninger, og videre at språk, prosesser, kvalitetssystemer og kontrakter i byggenæringen, er tegningsfokuserede. Byggebransjen er derimot i ferd med å endre tankemåte, ettersom den begynner å gå over til en mer modellbasert tegningsproduksjon (3D- modellering). Fra å tenke tegninger (2D) vil bransjen før eller senere bli nødt å tenke i mer tredimensjonale baner. Det er mest sannsynlig et spørsmål om tid. Selv om det fortsatt er mange rådgivere som finner det ulønnsomt å gå over til BIM, er BIM nok mest sannsynlig kommet for å bli²³.

Vider påpeker Christensen, at tradisjonelle tegningsleveranseplaner bør suppleres med mer detaljerte produksjonsplaner for prosjekteringsarbeid, og at man definerer informasjonsleveransene tydeligere. Potensialet med BIM handler om bedret informasjonslogistikk og nye arbeidsprosesser. Dette sammenfaller også med DSM-metodikken.

Tegningsleveranseplanen som verktøy for fremdriftsstyring av prosjekteringen, kan diskuteres om er ideell. Det ville være interessant å undersøke hvorvidt det finnes en bedre måte å styre på. Uten å trekke for bastant konklusjon på dette, kan det tyde på at det er behov for å konkretisere oppgavene og tydelig definere informasjonsflyt.

²³ Dette ble uttalt under et prosjekteringsmøte, og kommer også frem av den nylig refererte artikkelen.

En mulig tilnærming kan være å bakoverplanlegge tegningsleveransene, ved å benytte LPS-metodikken og involvering av de prosjekterende. Deretter kan det være aktuelt at de prosjekterende planlegger prosjekteringen i detalj for noen uker frem i tid, gjerne i tråd med prinsippene til «Last Planner» og/eller DSM. «Last Planner» tar hensyn til den iboende dynamikken og uforutsigbarheten som er i byggebransjen. DSM kan deretter benyttes til å sekvensere aktiviteter i optimal rekkefølge, slik det antydes at DSM vil gjøre. Både BIM og Last Planner kan bidra til bedre koordinering, men ikke fullt ut når det gjelder gjensidige avhengigheter. DSM foreslås derfor som en metode for å belyse gjensidige avhengigheter, og at de foreslåtte teknikker brukes for å løse dem.

13 KONKLUSJON

Hovedproblemstillingen for oppgaven var:

Hvordan kan byggprosjektering organiseres og ledes for å oppnå økt effektivitet og forutsigbarhet i byggproduksjon?

Design Structure Matrix (DSM) ble testet som et alternativ til metode for å svare på denne hovedproblemstillingen. Følgende forskerspørsmål ble derfor utarbeidet for å belyse den:

Er Design Structure Matrix en hensiktsmessig metode for å håndtere gjensidige avhengigheter mellom fagdisipliner innen byggprosjektering, og kan metodikken bidra til å oppnå høyere grad av forutsigbarhet og styring av prosjekteringen?

DSM skiller seg fra tradisjonelle styringsverktøy som PERT, CPM og GANTT ved at den tar hensyn til komplekse relasjoner. De tradisjonelle verktøyene er gode på å fremstille parallelle og sekvensielle prosesser, men klarer ikke fremstille gjensidige (resiproke) avhengigheter og iterasjoner, i den grad DSM gjør. Det kan, på bakgrunn av en rekke kilder som er sitert i oppgaven, sies at DSM er en hensiktsmessig metode for å håndtere gjensidige avhengigheter. Hvorvidt den kan håndtere denne typen avhengigheter mellom fagdisipliner innen byggprosjektering, ble testet ut ved at fagdisiplinene ble representert ved tegningene som de produserer. Byggprosjektering er en iterativ prosess som preges av gjensidige avhengighetsbeslutninger tatt i samråd med ulike profesjonelle aktører (fagdisipliner). Det å visualisere avhengighetene mellom tegningene, kan gi fagdisiplinene bedre forståelse og oversikt over systemet (prosjekteringen), og på den måten, forbedre informasjons- og kommunikasjonsflyten, som er kritiske faktorer for å oppnå suksess med prosjekteringen.

Årsaken til at tegninger ble benyttet som systemelementer, var blant annet pga. at dagens styringsform i stor grad er basert på tegningsleveranseplaner. Resultatet etter intervjuer med de prosjekterende (datainnsamlingen) gav en matrise som viste avhengighetene mellom tegninger på en god måte. Etter en omstrukturering (partisjonering) av denne matrisen, ble det funnet tydelige indikasjoner på at tegninger ikke er hensiktsmessig å benytte som systemelementer, blant annet pga. at enkelte tegninger ble for abstrakte i forhold til at de skal kunne representere en aktivitet, og videre fordi det viste seg å være vanskelig å sekvensere dem. Underveis i produksjonen av tegninger trengs det input fra andre tegninger og

kommunikasjon med andre aktører om ulike beslutninger. Disse interaksjonene og iterasjonene fanges ikke opp dersom man benytter tegninger som systemelementer. Mye tyder på at det trengs bedre styring på aktivitetene som foregår underveis i utarbeidelsen av tegningene, og av den grunn er det foreslått å dele inn prosessen på en annen måte. Dette vil forhåpentligvis bidra til at DSM-analysen gir resultater som vil være av nytte for bedre å kunne styre prosessene frem mot tegningslevering

Vi mener derfor at nøkkelen til å oppnå en hensiktsmessig DSM ligger i selve nedbrytningen av prosjekteringsarbeidet og i det å finne et passende detaljnivå. Det anbefales derfor at Design Structure Matrix utforskes videre med hensyn på dette. Flere forslag til hvordan en slik nedbryting kan utføres, ble vurdert:

- Dekomponere tegningene i flere faser
- Dekomponere prosjekteringsfasen i aktiviteter slik at den blir mer lik slik den faktisk skrider frem.
- Dekomponere prosjekteringsfasen i beslutningspunkter slik at den blir mer lik slik den faktisk skrider frem.

Til tross for at for at vi ikke fikk etablert en velfungerende DSM, gjorde vi oss mange erfaringer og flere interessante observasjoner. Det fremkommer blant annet klart og tydelig av DSM-matrisen hvilke tegninger som er avhengig av andre tegninger, og hvilken type avhengighet det var mellom tegningene. Dette kan bli brukt til å identifisere hvilke aktører som må informeres når det skjer en endring i designprosessen. Det kan imidlertid være mer fordelaktig å visualisere informasjonsflyten mellom mer konkrete beslutninger eller designaktiviteter, for at denne egenskapen til DSM kan ytterligere utnyttes.

Det er mye som tyder på at det trengs bedre kontroll på kommunikasjon og informasjonsutveksling i prosjektering, særlig er dette en kritisk styringsparameter som prosjekteringsleder må ha kontroll over. Dette har sin begrunnelse i at forsinkelser og feil begrunnes med at aktørene ikke har informasjonen de trenger for å ferdigstille innen tiden, eller så har de ikke oversikt over hvor den manglende informasjonen kan hentes fra. De legger kanskje ansvar over på andre aktører som de mener bør gjøre beslutninger før de kan gjøre sine, eller de undervurderer tiden det tar å innhente informasjon. Mye ansvar for forsinkelser

legges også over på ledere som mangler oversikt over hvem som mangler informasjon, eller som ikke har kontroll på hvilken informasjon som mangler. Det kom fram at de prosjekterende kommuniserte lite utenom prosjekteringsmøtene. Det var samtidig sterke indikasjoner på at det var et ønske om mer kommunikasjon og samhandling mellom enkelte aktører. DSM vil forhåpentligvis kunne bidra til å visualisere når, og om hva de prosjekterende må kommunisere.

Avhengighetene mellom tegningene ble kartlagt systematisk, og belyser som sagt hvilke tegninger, og dermed hvilke aktører, som er gjensidig avhengig. Dette kan også være et nyttig verktøy for prosjekteringsledere i forhold til å forutse «høna og egget»-problemer og planlegge proaktivt. For å løse slike problemer kreves det ofte informasjonsutveksling gjennom tettere samarbeid (gjensidig tilpasning), og ofte flere gjennomganger av designet (iterasjoner) for å komme fram til en akseptabel designløsning. Prosjekteringsleder kan dra nytte av å vite når slike møter er nødvendig. Det er imidlertid ikke prøvd ut i praksis å benytte dette som et verktøy i forhold til endringer, og for å se om DSM kan være egnet til slikt bruk, må det nødvendigvis prøves ut på et vist antall prosjekter. Dog vil det trolig være mer hensiktsmessig å kartlegge avhengighetene mellom ulike aktiviteter, og ikke direkte mellom tegningene for å se spesifikt hvilke aktiviteter/beslutninger som påvirkes av en endring.

Det er initiert at DSM, i tillegg til å sekvensere prosesser, også skal kunne bidra til å gi fagdisiplinene bedre forståelse og oversikt over systemet, i dette tilfellet prosjekteringen, og dermed forbedre kommunikasjonen. Etter å ha benyttet matrisen til å visualisere hvor mye oversikt aktørene har over hva de gir av informasjon, viste det seg at det her var mange hull. Dette stemte også bra overens med Browning (2001) som sier at ingeniører har mindre oversikt over hvilke aktører som avhenger av det de selv produserer. Dersom man har oversikt over hvem man produserer informasjon for, vil det være mye lettere å styre prosessen slik at informasjon foreligger der den skal til rett tid. DSM kan med andre ord være hensiktsmessig å benytte for å gi både aktører og leder bedre kontroll over informasjons- og kommunikasjonsflyt, som igjen er en kritisk faktor for suksess i prosjektering.

Siden det er blitt vanlig i større byggeprosjekter å forsøke å korte ned byggetiden gjennom å utføre prosjektering og bygging som tidsmessig delvis parallelle aktiviteter, må man finne en måte å ivareta denne problemstillingen med en DSM, slik at tegninger blir produsert med

tanke på at de første tegningene som trengs på byggeplass, er først ferdige. Vår DSM forsøker å finne en optimal sekvens på aktivitetene for hele prosjekteringsprosessen, og det er ikke foretatt undersøkelser som gjør at vi kan konkludere med hvorvidt DSM kan fungere til å styre tegningsproduksjonen slik at tegningsleveransene leveres i prioritert rekkefølge til byggeplass. En DSM bør kunne ta med i beregningen at noen tegninger må leveres tidligere enn andre, og den optimaliserte rekkefølgen bør også være fokusert mot når de spesifikke tegningene skal leveres, dersom dette er en problemstilling.

Som en sideobservasjon (funn) i dette prosjektet, har vi sett at tegninger kan være mindre ideelt å styre etter. Dagens styringsform er basert på tegningsleveranseplan. I forbindelse med vårt funn av at tegninger ikke er hensiktsmessige som systemelementer i DSM, ble både undertegnede og våre veiledere oppmerksomme på at tegninger som styringsform, muligens ikke er ideelt med tanke på fremdriftsstyring av prosjekteringen. Da Design Structure Matrix krever en nedbrytning av prosjekteringsprosessen og en mer sekvensiell logikk, slo det oss at å tenke tegninger og ikke konkrete aktiviteter, kan være en årsak til at byggprosjektering er ineffektiv. Større fokus og planlegging rundt informasjonsflyt, kan gjøre prosjekteringsarbeidet mer transparent og mer konkret, enn slik prosessen er i dag.

DSM vil trolig ikke kunne løse alle utfordringene og problemene i byggprosjektering. DSM er ikke tilstrekkelig alene for å koordinere prosjekteringen, men kan være et viktig bidrag på lik linje med LPS, BIM og andre initiativ som går på forbedringsarbeid i prosjekteringen. Trolig kan LPS og DSM kombineres, og det er rimelig grunn til å anta at disse vil kunne utfylle hverandre på en god måte, i forhold til å oppnå høyere grad av forutsigbarhet og styring av prosjekteringsprosessen.

Avhengig eller uavhengig av våre resultater, mener vi det finnes et potensiale i DSM med tanke på å (ut ifra erfaringer som er gjort, og DSM-teori som er lest):

- Sekvensere arbeidsoppgavene i en så optimal rekkefølge som mulig, slik at mest mulig informasjon foreligger til rett tid, og dermed unngå unødvendige iterasjoner/omprosjektering.

- Identifisere «blokker²⁴» langs tidslinjen (diagonalen). Dette kan være et nyttig verktøy for prosjekteringsleder i forhold til å se hvilke aktiviteter som er gjensidig avhengig og som må løses gjennom gjensidig tilpasning. Prosjekteringsledere kan dermed planlegge proaktivt.
- Skape større bevissthet om avhengigheter mellom fag, og da særlig gjensidig avhengige. Kan være med å bidra til at de prosjekterende ikke blir «sittende på gjerdet» i påvente av informasjon.
- Identifisere hvilke aktiviteter som påvirkes når en eventuell endring skjer i designet.
- Gi de prosjekterende oversikt over informasjonsflyten, dvs. en aktør kan bli gjort bevisst på hvilke tegninger andre aktører benytter og er avhengig av for å produsere sine tegninger.

DSM kan synes å ha egenskaper som kan være nyttige for å bidra til å oppnå høyere grad av forutsigbarhet og styring av byggprosjektering. Dersom dette oppfylles, er håpet at man i større grad vil unngå prosjekteringsunnlatelser, forenklet prosjektering og feil i prosjekteringsmaterialet, da dette synes å være er størsteparten av årsaken til at det skjer byggefeil og stans i produksjonen. Er alle disse forutsetningene oppfylt, kan det så konkluderes med at DSM vil være en metodikk som kan benyttes for å organisere og lede byggprosjektering, slik at det oppnås økt effektivitet og forutsigbarhet i byggproduksjon. I henhold til de undersøkelser som er gjort i denne oppgaven, er det imidlertid for tidlig å konkludere i forhold til om DSM er en hensiktsmessig metode for å oppnå høyere grad av forutsigbarhet og styring av byggprosjektering, men det er likevel mange elementer som tyder sterkt på at metoden kan være det. Det ville være interessant om det ble foretatt flere undersøkelser rundt disse tingene, for å forhåpentligvis komme nærmere en konklusjon.

²⁴ «Blokker» illustrerer klynger av aktiviteter som er gjensidig avhengige og som krever tettere samarbeid mellom aktørene for å komme frem til en tilfredsstillende løsning.

14 BIBLIOGRAFI

- Business Dictionary*. (2012). Hentet Mai 2012, 2012 fra <http://www.businessdictionary.com/>
- DSMweb.org*. (2012). Hentet April 28, 2012 fra <http://www.dsmweb.org/>
- Lean Construction Institute*. (2012). Hentet Mai 22, 2012 fra <http://www.leanconstruction.org>
- Webområde for Lean Construction Institute*. (2012). Hentet Mai 21, 2012 fra The Last Planner: <http://www.leanconstruction.org/lastplanner.htm>
- Arge, K., Moe, K., & Westgaard, H. (2010). *Prosjekteringsplanlegging og prosjekteringsledelse*. Oslo: Byggekostnadsprogrammet.
- Austin, S. B. (2000). *Analytical Design Planning Technique (ADePT) - A Dependency Structure Matrix Tool to Schedule the Building Design Process*. Taylor & Francis.
- Ballard, G. (1999). *Positive Vs Negative Iteration In Design*. Proceedings, International Group for Lean Construction.
- Ballard, H. G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Birmingham: The University of Birmingham.
- Boyle, G. (2003). *Design project management*. Aldershot: Ashgate.
- Brekke, K., Sønstebø, C., Wiig, M., & Meiningen, H. (2008, Januar 18). *Beste Praksis - Metode og verktøy for informasjonsflyt, effektivitet og økt kvalitet*. Hentet Mai 3, 2012 fra kunnskapsnettverk.no: http://ksikt-forum.no/artikler/2008/8/pbm_innforing
- Browning, T. R. (2001). *Applying the DSM to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions*.
- Byggekostnadsprogrammet. (2010). *Resultatrapport prosjekt 14318: Organisasjonsutvikling og læring knyttet til trimmet bygging*. Byggekostnadsprogrammet.
- Choo, H. J., Hammond, J. W., Tommelein, I. D., Ballard, G., & Austin, S. (2003). *DePlan - A tool for integrated design management*. Loughborough: Elsevier Science B.V.
- COWI. (2008). *Hvordan unngå prosjekteringsfeil*. Trondheim: Byggekostnadsprogrammet.
- Eppinger, S. D. (2007). *Model-based Approaches to Managing Concurrent Engineering*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Eppinger, S. D., & Smith, R. P. (1997, August). A Predictive Modell of Sequential Iteration in Engineering Design. *Management Science*, ss. 1104-1120.
- Eppinger, S., & Smith, R. (1997, Mars). Identifying Controlling Features of Engineering Design Iteration. *Management Science*, 43(3), ss. 276-293.
- Erlie, B. (2003). *Intern kommunikasjon. Planlegging og tilrettelegging*. Oslo: Universitetsforlaget.

- Furniss, B. J., & Trauner, T. J. (2010, Mars). The Critical Path: Definition vs. Understanding. *Construct!*, 19(1), ss. 3-6.
- Halvorsen, K. (1993). *Å forske på samfunnet: en innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. Oslo: Bedriftøkonomens forlag.
- Hammond, J., Choo, H., Austin, S., Tommelein, I., & Ballard, G. (2000). *Integrating design planning, scheduling and control with DePlan*. Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC-8.
- Harrison, F., & Lock, D. (2004). *Advanced Project Management. A Structured Approach*. St. Albans: Gower Publishing Limited.
- Huovila, P., Koskela, L., Lautanala, M., Pietiläinen, K., & Tanhuanpää, V.-P. (1995, Oktober 16-18). Use of the Design Structure Matrix in Construction. 8. Finland: 3rd International Workshop on Lean Construction.
- Isaksen, A. (2012, Januar 5). Forelesning Kvalitativ & Kvantitativ Metode. Grimstad: Universitetet i Agder.
- Iversen, M. (2012, Februar 20). Flere Burde Prøvebygge På PC'n. *Fremtidens Byggenæring*, ss. 20-21.
- Jessen, S. A. (2001). *Mer effektivt prosjektarbeid i offentlig og privat virksomhet*. Bærum: Universitetsforlaget.
- Johannessen, J.-A., & Rosendahl, T. (2010). *Prosjektkommunikasjon*. Trondheim: Cappelen Damm.
- Kalsaas, B., & Sacks, R. (2011). *Conceptualization for interdependency and coordination between construction tasks*. Lima: Proceedings IGLC 19 University of Salford.
- Kalsaas, B., Skaar, J., & Thorstensen, R. (2010). *System og resultater fra utprøving av planleggingsmetoden "Last Planner" (Lean construction) på Havlimyra oppvekstsenter i Kristiansand kommune*. Grimstad: Universitetet i Agder/ Skanska.
- Karlsen (red.), T. (1998). *Kommunikasjon. målstyrt samarbeid og informasjon*. Sarpsborg: Universitetsforlaget.
- Klein, G., & Adelman, L. (2005). *A Collaboration Evaluation Framework*. Hentet Mai 5, 2012 fra Webområde for MITRE: http://www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers_05/05_0190/05_0190.pdf
- Koskela, L., Ballard, G., & Tanhuanpää, V.-P. (1997). Towards lean design management. *Proceedings of the 5th annual conference of the International Group for Lean Construction Volume: 5*, ss. 1-13.
- Kristensen, K. H. (2011, Oktober 25). *Prestasjonsmålinger i prosjektering*. Hentet Februar 6, 2012 fra Webområde for Slideshare.net: <http://www.slideshare.net/Prosjektkonferanse/strm-1-kai-haakon-kristensen-prestasjonsmaling-i-prosjektering-av-byggeprosjekt-9868353>
- Kvale, S., & Brinkmann, S. (2009). *Det kvalitative forskningsintervju*. Oslo: Gyldendal akademisk.

- Meland, Ø. H. (2000). *Prosjekteringsledelse i byggeprosessen. Suksesspåvirker eller andres alibi for fiasko*. Trondheim: NTNU.
- Pektaş, S., & Pultar, M. (2006). *Modelling detailed information flows in building design with the parameter-based design structure matrix*. Ankara, Turkey: Faculty of Art, Design and Architecture, Bilkent University, 06800 Bilkent, Ankara, Turkey.
- Rolstadås, A. (2006). *Praktisk prosjektstyring*. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.
- Sachs, R., Koskela, L., Bhargava, D., & Owen, R. (2010, September). Intersection of Lean and Building Information Modelling in Construction. *Journal Of Construction Engineering And Management*, ss. 968-980.
- Samset, K. (2008). *Prosjekt i tidligfasen - valg av konsept*. Trondheim: Tapir Akademisk forlag.
- Senthilkuma, V., & Varghese, K. (2009). *Structured Methodology to Formulate Drawing Dependency Structure Matrix for Construction Design*. Chennai.
- SINTEF Nasjonal database for Byggkvalitet. (2003). *Statistikk: Webområde for "Nasjonal database for Byggkvalitet"*. Hentet Mars 19, 2012 fra Webområde for "Nasjonal database for Byggkvalitet": <http://www.byggkvalitet.no/PortalPage.aspx?pageid=149>
- Statsbygg. (2012). *Statsbygg*. Hentet Mai 22, 2012 fra <http://www.statsbygg.no/FoUprosjekter/BIM-Bygningsinformasjonsmodell/>
- Sweco v/Rune Hovda. (2011, September 26). *Påvirkning i byggeprosjekt*. Hentet Februar 6, 2012 fra Webområde for Norsk senter for prosjektledelse: <http://www.nsp.ntnu.no/files/events/153/hovda-prosjektstyring-mot-byggekontrakt-rev01.pdf>
- Thompson, J. (2003). *Organizations in action - Social Science Bases of Administrative Theory*. New Brunswick: McGraw-Hill Book Company.
- Tommelein, I. (2008, July/August). Pull-Driven Scheduling For Pipe-Spool Installation: Simulation Of A Lean Construction Technique. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 124(4), ss. 279-288.
- Tyson R. Browning. (2001). *Applying the DSM to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions*.
- Veiseth, M., Røstad, C., Andersen, B., Torp, O., & Austeng, K. (2004). *Produktivitet og logistikk i bygg- og anleggsbransjen: Problemområder og tiltak*. Trondheim: Sintef.
- Yassine, A. A. (2004). *An Introduction to Modeling and Analyzing Complex Product Development Processes Using the Design Structure Matrix (DSM) Method*. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Yin, R. K. (2003). *Case study research. Design and methods*. Bethlehem, Pennsylvania: SAGE Publications.

15 FIGURLISTE

| | |
|--|-----|
| FIGUR 1 PÅVIRKNINGSEVNEN REDUSERES MED ØKENDE TIDSAKSE (SWECO V/RUNE HOVDA, 2011)..... | 21 |
| FIGUR 2 BYGGEPROSESS FRA IDÉ TIL UTRANGERING (MELAND, 2000)..... | 22 |
| FIGUR 3 SAMMENHENG MELLOM USIKKERHET OG TILGJENGELIG INFORMASJON (SAMSET, 2008)..... | 27 |
| FIGUR 4 ILLUSTRASJON, GANTT-DIAGRAM (HARRISON & LOCK, 2004)..... | 38 |
| FIGUR 5 AOA (CRITICAL PATH METHOD) (HARRISON & LOCK, 2004)..... | 39 |
| FIGUR 6 AON (CRITICAL PATH METHOD) (HARRISON & LOCK, 2004)..... | 40 |
| FIGUR 7 AKTIVITETER REPRESENTERT I ET TRADISJONELT NETTVERK (YASSINE, 2004). | 44 |
| FIGUR 8 AKTIVITETER REPRESENTERT I EN DESIGN STRUCTURE MATRIX (YASSINE, 2004)..... | 44 |
| FIGUR 9 ULIKE DSM TYPER ((PEKTAŞ & PULTAR, 2006))..... | 46 |
| FIGUR 10 AVLESNING AV EN MATRISE. FEEDBACK ER REPRESENTERT PÅ OVERSIDEN AV DIAGONALEN..... | 48 |
| FIGUR 11 TRE TYPE AVHENGIGHETER (PEKTAŞ & PULTAR, 2006)..... | 49 |
| FIGUR 12 PARTISJONERT MATRISE..... | 53 |
| FIGUR 13 FREMGANGSMÅTE FOR Å ETABLERE OG ANALYSE EN DSM (YASSINE, 2004)..... | 58 |
| FIGUR 14 SØNDELED SKOLE I 2013..... | 64 |
| FIGUR 15 UTDRAG AV TEGNINGSLEVERANSEPLAN FOR PROSJEKTET SØNDELED SKOLE. | 67 |
| FIGUR 16 BAKOVERPLANLEGGING AV PROSJEKTERINGEN MED UTGANGSPUNKT I 1. IG..... | 69 |
| FIGUR 17 PROSJEKTERINGSFEIL SOM LEDER TIL BYGGFEIL (COWI, 2008)..... | 70 |
| FIGUR 18 FORDELERSKAP ER Plassert UTILGJENGELIG BAK TOALETT (SINTEF NASJONAL DATABASE FOR BYGGKVALITET, 2003) | 71 |
| FIGUR 19 FORDELING AV NÅR I BYGGEPROSESSEN GRUNNLAGET FOR BYGGSKADENE BLIR LAGT (SINTEF NASJONAL DATABASE FOR BYGGKVALITET, 2003)..... | 72 |
| FIGUR 20 SYSTEMELEMENTER OPPFØRT I KRONOLOGISK REKKEFØLGE..... | 77 |
| FIGUR 21 DEL AV INPUT-MATRISE, BENYTTET UNDER INTERVJU MED RIB..... | 79 |
| FIGUR 22 EKSEMPEL ORIGINAL DSM I LOOMEO..... | 85 |
| FIGUR 23 EKSEMPEL: PARTISJONERT DSM I LOOMEO..... | 85 |
| FIGUR 24 DSM FØR PARTISJONERING (ORIGINAL)..... | 86 |
| FIGUR 25 PARTISJONERT MATRISE (MED BLOKK ILLUSTRERT)..... | 87 |
| FIGUR 26 DEN PARTISJONERTE DSM INDIKERER AT «PLAN ARK» SKAL PÅBEGYNNES SOM NR. 3..... | 89 |
| FIGUR 27 PLANTEGNING ER MANUELT FLYTTET ØVERST, MANUELL PARTISJONERING..... | 89 |
| FIGUR 28 FAKTISK TEGNINGSREKKEFØLGE (VENSTRE) OG OMSTRUKTURERT TEGNINGSREKKEFØLGE (HØYRE)..... | 93 |
| FIGUR 29 HER DISKUTERER RIB, ARKITEKT OG PROSJEKTERINGSLEDER RESULTATENE FRA DSM-ANALYSEN..... | 94 |
| FIGUR 30 TEGNINGER GIR OUTPUT OG FÅR INPUT I ULIKE TILSTANDER OG FASER..... | 97 |
| FIGUR 31 BLOKKER ILLUSTRERT I DSM KAN OVERFØRES TIL F.EKS. GANTT (KOSKELA, BALLARD, & TANHUANPÄÄ, 1997)..... | 98 |
| FIGUR 32 DEN FAKTISKE FREMDRIFTSPLAN SOM INNEHOLDER DESIGNAKTIVITETER I KRONOLOGISK REKKEFØLGE(HUOVILA M. FL, 1995)..... | 100 |
| FIGUR 33 DSM ("AS-IS MATRIX") MED UTGANGSPUNKT I DEN FAKTISKE FREMDRIFTSPLANEN (HUOVILA M. FL, 1995)..... | 100 |
| FIGUR 34 ENKELTE STORE TEGNINGER ER DELT OPP I FLERE FASER..... | 101 |
| FIGUR 35 HER ER ET UTKLIPP FRA DET FORESLÅTTE KONSEPTET MED AKTIVITETSBASERT INNDELING..... | 102 |
| FIGUR 36 AVVIK I OPPFATNING OM OUTPUT OG INPUT..... | 106 |
| FIGUR 37 AVVIK I OPPFATNINGEN OM INPUT OG OUTPUT (UTEN "INTERNE" AVHENGIGHETER)..... | 108 |

16 TABELLISTE

| | |
|--|----|
| TABELL 1 ULIKE TYPER DSM. KILDE BROWNING (2001), DSMWEB.ORG (2012)..... | 47 |
| TABELL 2 SPESIFIKK INFORMASJON SOM TRENGS FOR Å LAGE «DEKKE OVER U.ETG/FUNDAMENTPLAN»..... | 81 |

17 VEDLEGG

| | |
|---|------|
| Vedlegg A Intervjuguide med produksjonsleder (Skanska)..... | i-ii |
| Vedlegg B Intervjuguide med RIB (Rådgivende Ingeniør i Byggeteknikk)..... | iii |
| Vedlegg C Kommunikasjonsskjema..... | iv-v |
| Vedlegg D Prosesskart: Framdrift modellering BIM (Skanska)..... | vi |

Vedlegg A. Intervjuguide for produksjonsleder (Skanska)

| Bakgrunnsinformasjon om intervjuobjekt | |
|---|-----------------------|
| Navn: | Stilling: |
| Utdannelse: | Tidligere stillinger: |
| Jobber for: | Fartstid i bransjen: |

1. Generelt

- 1.1. Kan du si litt om hva du jobber med og evt hva du tidligere har jobbet med?
 - i. Bakgrunn, erfaring.
 - ii. Har du deltatt i prosjektering?
- 1.2. Kan du nevne en situasjon du husker spesielt, der produksjonen var ustabil og ineffektiv?
 - i. Hva var i så fall årsaken til dette?
- 1.3. Hva mener du er den viktigste årsakene til at produksjonen på byggeplass stopper opp/bremses?
 - i. Har du et konkret eksempel?

2. Tegningsleveranser

- 2.1. Skjer det hyppig at produksjonen bremses pga. for sene levereringer eller feil/mangler i forhold til arbeidstegninger?
- 2.2. Hvilke konsekvenser får en slik nedbremsing for prosjektet?
 - i. Reaksjoner?
 - ii. I hvilken grad har det ringvirkninger?
 - iii. Har du et konkret eksempel?
- 2.3. Hvilke tiltak iverksettes på byggeplass dersom prosjektet bremses pga tegninger?
 - Venting
 - Bufferaktiviteter
- 2.4. Hva tror du er årsakene til at tegningsleveransene ikke kommer på tida?

3. Forsinkelser, typiske feil og mangler ved tegninger

- 3.1. Hva er typiske feil/mangler på en arbeidstegning (Hva er dårlig kvalitet på arbeidstegning?)
 - Manglende detaljer
 - Manglende samsvar mellom tegning og mengdebeskrivelse.
 - Manglende merking på tegning
 - Montasjen kan ikke utføres i henhold til tegning, uhensiktmessig løsning.
 - Detaljer er ikke løst på tegning og må løses på byggeplass

- Slurv med å markere revisjoner.
- 3.2. I hvilken grad kan feil/mangler i underlag tillates uten at det får konsekvenser for produksjonen?
- i. Hvilken betydning har eksempelvis en mindre målsettingsfeil?
 - ii. Kan fleksibilitet fra håndverkerne redde produksjonen fra å stoppe opp?
- 3.3. Hvilke feil/problemområder på tegningsunderlag bør komme i fokus?
- 3.4. Er det en samlet oppfatning om hva som er optimal målsetting blant de utførende, eller er dette subjektivt?

4. Prosjekteringsledelse

- 4.1. Hvordan vil du beskrive kompetansen til prosjekteringsledelsen når det gjelder praktiske løsninger/utforming av detaljer.
- i. Er løsningene som fremlegges gode, og i tråd med håndverkernes oppfatning av gode løsninger?
 - ii. Kan du evt. nevne et eksempel.
- 4.2. Er prosjekterende flinke til å involvere håndverkerne for å komme frem til løsninger?
- i. Hvis nei, er dette et behov, ønskelig og nødvendig (tror du)?
- 4.3. Ville det i enkelte tilfeller vært hensiktsmessig om de prosjekterende hadde løst problemer på byggeplass i stedet for på tegning?
- 4.4. Hva (mener du) må til for at feil/mangler på underlag skal unngås?
- 4.5. Er det realistisk å luke vekk slike feil?

5. Kommunikasjon og informasjonsflyt

- 5.1. Hvordan føler du kommunikasjonen og informasjonsflyten er mellom de prosjekterende og de utførende?
- i. Ser du noen problemområder her som kunne vært bedret?

6. Oppsummering.

- 6.1. Har du noen ytterligere kommentarer til det med tegningsleveranser, feil eller stabilitet og effektivitet i produksjonen?

Vedlegg B. Intervjuguide med RiB

| Bakgrunnsinformasjon om intervjuobjekt | |
|---|------------------------------|
| Navn: | Stilling: |
| Utdannelse: | Tidligere stillinger: |
| Jobber for: | Fartstid som prosjekterende: |

Avhengigheter mellom tegninger

- 1.1. Gjennomgang av matrisen med tegninger og avkrysning av hvilke tegninger RiB er avhengig av for å produsere egne tegninger. I tillegg: krysse av for hvilken output RiB-tegningene gir til andre fag. Se egen input/output matrise. Eventuelle kommentarer loggføres også.

Kommunikasjon i prosjektet

- 1.2. Hvor hyppig (gjennomsnittlig) kommuniserer RiB med de andre aktørene i prosjektet? Se eget vedlegg «kommunikasjonsskjema»?
- 1.3. Er det noen av aktørene du skulle ønske du hadde mer samhandling med?
- 1.4. Hvordan er din erfaring med prosjekthotellet?
 - i Hva er bra og hva er dårlig?

Prosjekteringsfasen

- 1.5. Hva er dine umiddelbare tanker om hvordan prosjekteringsfasen fungerer?
 - i Hva er bra og hva er dårlig?
- 1.6. Mener du det er skjedd endringer i hvordan prosjekteringsfasen foregår?
 - i Gjøres det tiltak for å oppnå en mer effektiv og god prosjekteringsfase, eller er prosessen «som den alltid har vært»?
 - ii Tidligere erfaringer?
- 1.7. Hva er mest problematisk med måten prosjektering organiseres på i dag, slik du ser det?
- 1.8. Har du noen ideer eller formeninger om hvordan prosjekteringsfasen kan forbedres?
- 1.9. Har forekommet unødvendige designiterasjoner («looper med omprosjektering») i prosjekteringen av Søndeled skole, slik du ser det?
 - i Kan du nevne konkrete eksempler på dette?

Vedlegg C. Kommunikasjonsskjema

Hvor hyppig kommuniserer arkitekt med andre aktører i prosjekteringsgruppen?

RIB

| Alternativ | Kryss av | Kommentar |
|------------------------------|-----------------|------------------|
| Flere ganger daglig: | | |
| Daglig eller annen hver dag: | | |
| Ukentlig: | | |
| Flere ganger i måneden: | | |
| Når det trengs: | | |

RIBr

| Alternativ | Kryss av | Kommentar |
|------------------------------|-----------------|------------------|
| Flere ganger daglig: | | |
| Daglig eller annen hver dag: | | |
| Ukentlig: | | |
| Flere ganger i måneden: | | |
| Når det trengs: | | |

RIV (Energi)

| Alternativ | Kryss av | Kommentar |
|------------------------------|-----------------|------------------|
| Flere ganger daglig: | | |
| Daglig eller annen hver dag: | | |
| Ukentlig: | | |
| Flere ganger i måneden: | | |
| Når det trengs: | | |

RIE

| Alternativ | Kryss av | Kommentar |
|------------------------------|-----------------|------------------|
| Flere ganger daglig: | | |
| Daglig eller annen hver dag: | | |
| Ukentlig: | | |
| Flere ganger i måneden: | | |
| Når det trengs: | | |

RIA (Lyd)

| Alternativ | Kryss av | Kommentar |
|------------------------------|-----------------|------------------|
| Flere ganger daglig: | | |
| Daglig eller annen hver dag: | | |
| Ukentlig: | | |
| Flere ganger i måneden: | | |
| Når det trengs: | | |

BH

| Alternativ | Kryss av | Kommentar |
|------------------------------|-----------------|------------------|
| Flere ganger daglig: | | |
| Daglig eller annen hver dag: | | |
| Ukentlig: | | |
| Flere ganger i måneden: | | |
| Når det trengs: | | |

Prosjekteringsleder

| Alternativ | Kryss av | Kommentar |
|------------------------------|-----------------|------------------|
| Flere ganger daglig: | | |
| Daglig eller annen hver dag: | | |
| Ukentlig: | | |
| Flere ganger i måneden: | | |
| Når det trengs: | | |

Vedlegg D. Prosesskart: Framdrift modellering BIM (Skanska)

