

Eksperimenter med nettverksplanlegging

Experiments with network planning

Av sivilingeniør AAMUND FJØSNE
Norges byggforskningsinstitutt

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT



OSLO 1966

nr 65.012
F
2ex

Eksperimenter med nettverksplanlegging*

Av sivilingeniør AAMUND FJØSNE, Norges byggforskningsinstitutt

Innledende bemerkninger

Det har i de senere år vært skrevet og talt så mye om nettverksanalyse av byggeprosessen, at de fleste byggefagfolk vil kjenne de grunnleggende begreper som knytter seg til nettverksmodellen. Uttrykk som PERT (Project Evaluation and Reviewing Technique) og C.P.M. (Critical Path Method) er etterhvert vel innarbeidet, selv om de nok foreløbig mest er kjent gjennom skrift og tale og mindre gjennom praktisk anvendelse. Det stilles imidlertid store forventninger til disse systemene, både når det gjelder å formulere realistiske og hensiktsmessige tidplaner og også når det gjelder økonomisk overvåking av byggeprosessen.

Ved NBI's EDB-avdeling har man derfor funnet det riktig å ta opp disse problemene som et av avdelingens forskningsprosjekter. Det er dette prosjektet som det her skal gjøres rede for, men det er kanskje nyttig først å se litt på de to hovedformene for nettverksmodellen, og å presentere ressursallokeringsproblemet, som de fleste nettverks-spesialister for tiden er opptatt av. Nettverksmodellens oppgave er å vise hvordan prosessen er bygget opp av nærmere definerte aktiviteter, og hvordan disse aktivitetene er avhengige av hverandre i tid.

Pildiagrammet

gir kanskje den mest konsentrerte fremstillingen både som grafisk bilde og som tabularisk gjengivelse av hva det grafiske bildet viser. I pildiagrammet er aktivitetene avmerket som piler. Pilene er knyttet sammen til et nettverk i punkter som ofte markeres med

nummererte ringer og oppfattes som merkepunkter i prosessens utvikling (Events, Milestones, Benchmarks). Det er aktivitetene, pilene, som legger beslag på tid, merkepunktene representerer bare et tidspunkt. Disse merkepunktene kan imidlertid tidfestes, og dermed blir alle aktivitetene klemt inne mellom gitte tidspunkter, og det blir således anvist et bestemt tidsintervall for utførelsen.

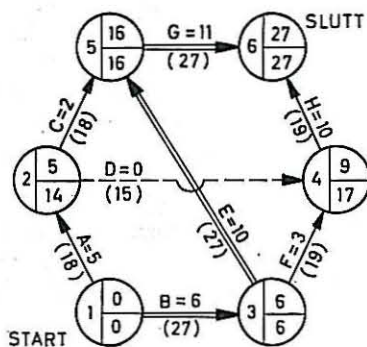
Figur 1 viser i prinsippet et pildiagram med åtte aktiviteter som har fått bokstavnavn fra A til H og er klemt inne mellom seks merkepunkter som er forsynt med nummer fra 1 til 6.

Ved siden av er satt opp en tabell som forteller nøyaktig det samme som pildiagrammet, omenn ikke på tilsvarende oversiktlige måte. Ved arbeidet med å splitte opp byggeprosessen i gjensidig avhengige aktiviteter, benytter man seg derfor av den grafiske modellen. Men for å styre de regneprosesser man vil ha utført, må man skrive resultatet opp i tabellform som input for en regneprosess.

Aktiviteten D er stiplet i diagrammet, og dette er en vanlig konvensjon for å vise at denne pilen representerer i grunnen ikke noen reel aktivitet. Den er bare satt inn der for å vise at punkt nr. 4 ikke kan nås før man har nådd frem til punkt nr. 2.

Det er verdt å merke seg at dersom betingelsen for å komme i gang med to aktiviteter er delvis, men bare delvis den samme, kan man ikke få vist dette i pildiagrammet uten å ta i bruk slike symbolske tilleggsaktiviteter.

Fig. 1



Nummer På merkepunkt — Tidligste start for etterfølgende aktivitet.
Seneste avslutning for forutgående aktivitet.

Over aktiviteten er angitt aktivitetens navn = den tid den legger beslag på, og under aktiviteten er i parentes angitt lengden på den vei som fører gjennom aktiviteten. Aktiviteter på den kritiske vei er merket med dobbelt strek i pilen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aktivitet	Fra punkt	Til punkt	Nød. start	Tidl. start	Seneste avslutn.	Slakk	NB	Vei-lengde	
A	1	2v	5	0	14	9		18	
B	1	3	6	0	6	0	NB	27	
C	2	5	2	5	16	9		18	
D	2	4	0	5	17	12		15	
E	3	5	10	6	16	0	NB	27	
F	3	4	3	6	17	8		19	
G	5	6	11	16	27	0		27	
H	4	6	10	9	27	8		19	

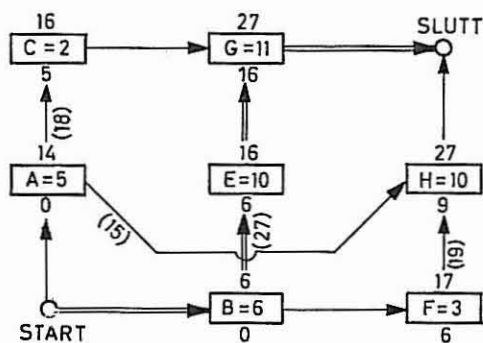
Tabularisk oppgave over tidregningen fra et pildiagram. Kolonnene 1—4 må mates inn som input. Kolonnene 5—9 regnes da ut automatisk. De aktiviteter som ligger på den kritiske vei, er merket spesielt i kolonne 8.

Blokkdiagrammet

som er vist på fig. 2 har ikke denne fallgruben, og dette er en av grunnene til at blokkdiagrammet for tiden synes å vinne terreng på bekostning av pildiagrammet. Figuren med tilhørende tabell gjengir nøyaktig den samme situasjon som fig. 1 viser i pildiagram.

Foredrag holdt i Norges byggforskningsinstitutt's foredragsserie på Blindern, april 1966, og ved konferansen «EDB i bygningsindustrien», arrangert av NIF's kursavdeling og Norsk selskap for elektronisk data-behandling, mai 1966.

Fig. 2.



Den kritiske veien er merket med doble piler. Veilengden er i parentes ført på piler.

I blokkdiagrammet er det blokkene som representerer aktivitetene og som altså legger beslag på tid, mens pilene bare er nødvendige rekkefølgerestriksjoner for utførelsen. Man vil kanskje ikke straks akseptere at disse to figurene og deres tilhørende tabulariske gjengivelse gir de samme opplysningene om aktivitetene og deres innbyrdes avhengighet, men dersom man stiller seg den oppgaven å gjøre om blokkdiagrammet til pildiagram eller omvendt, vil man se at denne oppgaven er entydig hva strukturen angår.

Det er også laget EDB-programmer som foretar en slik transformasjon fra den tabulariske gjengivelse av et blokkdiagram til et pildiagram, med innføring av nummererte merkepunkter og nødvendig antall symbolske aktiviteter. En slik transformasjon har først og fremst interesse for det formål å kunne utnytte ferdige regneprogrammer som forutsetter pildiagraminput. Regneprogrammer som lages fra nytt, kan like gjerne baseres direkte på blokkdiagraminput.

En test som ble utført ved universitetet i California, viste at blokkdiagrammet byr på store fordeler fremfor pildiagrammet når det gjelder å unngå misvisende modeller. Av to grupper som var sammensatt på samme måte og ellers likeverdige, fikk nesten alle riktige modeller når de arbeidet med blokkdiagram, mens feilprosenten var meget stor når de arbeidet med pildiagram.

Enkel tidregning

kan brukes som betegnelse på den tallbehandling som er vist på fig. 1 og 2. Man regner først gjennom modellen forfra og bakover, og fastlegger *tidligste start* for hver aktivitet. Derefter regner man gjennom modellen bakfra og forover og fastlegger *seneste avslutning* av hver aktivitet.

For hver aktivitet får man derved fastlagt et tidsintervall for utførelsen som minst er lik den tid aktiviteten legger beslag på. Dersom tidsintervallet er større enn nødvendig, betyr dette at man har noen frihet med hensyn til når aktiviteten skal utføres, og differansen mellom nødvendig tidsintervall og anvist tidsintervall kalles gjerne *slakk*.

Aktiviteter som ikke har slakk, sies å ligge på en *kritisk vei*; derav betegnelsen C.P.M. (Critical Path Method).

Det er verdt å merke seg at denne regnemåten forutsetter at alle aktiviteter er uavhengige av hverandre, bortsett fra de rekkefølgekrav som modellen viser.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Aktivitet	Forutgående aktiviteter					Nød. tid	Tidl. start	Seneste avslutn.	NB	Slakk	Veilengde
A						5	0	14		9	18
B						6	00	6	NB	0	27
C	A					2	5	16		9	18
E	B					10	6	16	NB	0	27
F	B					3	6	17		8	19
G	C	E				11	16	27	NB	0	27
H	F	A				10	9	27		8	19

Tabularisk oppgave over tidregningen fra et blokkdiagram. Kolonnen 1—6 må mates inn som input, mens kolonnene 7—11 regnes ut automatisk. De aktiviteter som ligger på den kritiske vei, er merket spesielt i kolonne 9.

Nettverksmodellen med enkel tidregning er vel idag akseptert som et behendig hjelpemiddel der forholdene ikke er for kompliserte. Dette gjelder kanskje særlig det vi kan kalle administrative prosesser. Man kan f. eks. oversiktlig og greit vise når bestillinger som krever leveringstid må plaseres, og når arbeider på stedet med kontraktfestet leveringstid må startes opp for å oppnå en gitt samlet avleveringstid for prosjektet.

Ressursallokeringsproblemet

Intern arbeidsplanlegging innen et firma kan imidlertid ikke behandles etter så enkle prinsipper. Det blir nødvendig å regne på tidforbruket for hver enkelt faggruppe for seg og ofte også på tidforbruket for fremdriftsbestemmende maskiner. For å vise at dette er et annet numérisk problem, kan vi først tenke oss at alle aktivitetene angitt i fig. 1 eller fig. 2, skulle utføres av en og samme mann og at de oppgitte tider var den tid han måtte ha på hver aktivitet. Totaltiden var da lett å bestemme, nemlig som summen av alle deltidene. Dette blir betydelig lengre tid enn det vi fant ved enkel tidregning, som forutsatte at arbeidet kunne foregå samtidig ved flere aktiviteter. Vi ser videre at selv om totaltiden er lett å bestemme, så er mellomtidene ikke entydige. De vil avhenge av i hvilken rekkefølge man velger å utføre dem, og rekkefølgen er bare delvis bestemt gjennom nettverksmodellen. I praktiske tilfeller vil man måtte regne samtidig på mange forskjellige ressurskategorier, og dette problemet angripes etter to forskjellige prinsipper.

Ressursutjevning

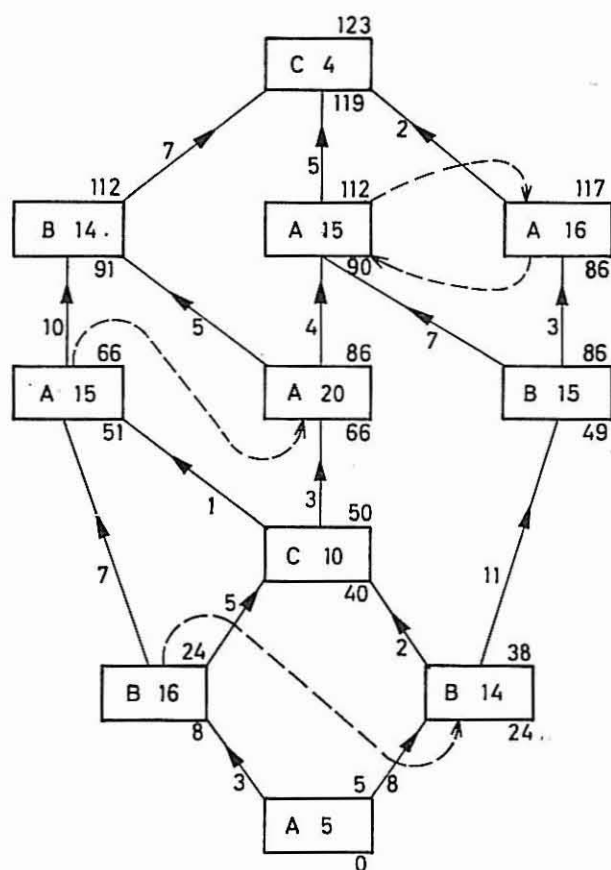
benyttes gjerne som betegnelse på den ene metoden. Nettet regnes først etter enkel tidregning. Der aktiviteter som krever samme ressurs, får anvist samme tid, må da bemanningen økes tilsvarende. Bemanningsdiagrammet vil da vise store topper. Ressursutjevningen går ut på å strekke ut tiden der det er bemanningstopper, inntil man har fått bemanningen under en gitt grense.

Eksempler som vi har kjennskap til, tyder på at denne metoden ikke gir særlig tilfredsstillende uttrykk for situasjonen, f. eks. for husbyggingsoppgaver.

Direkte ressursregning

kan vi kanskje bruke som uttrykk for den andre fremgangsmåten. Problemet angripes her direkte, idet man

Fig. 3.



Blokkdiagram med tidsavstander.

Ressursenes tidsbehov og type angitt i blokkene. Beregningen er gjennomført under hensyn til at samme ressurs ikke kan opptre flere steder samtidig.

søker å koble etter hverandre alle aktiviteter som krever samme ressurs, og søker den rekkefølge som gir gunstigst leveringstid. Etter denne metoden får man alltid den gitte bemanningen; men det er ikke alltid at man får full beskjefteigelse for arbeidsgjengene.

Splitting av aktiviteter

Beregningsmodellen kan gjøres mer fleksibel dersom man i tillegg til den rene rekkefølgeoppgaven også får med de kombinasjonsmulighetene som ligger i at aktivitetene ikke bare kan følge etter hverandre, men at de også kan kile seg inn i hverandre, på vilkårlig måte så lenge det ikke strider mot nettets rekkefølgekrav.

Gjennomregnede eksempler viser at splitting av aktiviteter er så hyppig forekommende at det neppe kan oppnås realistisk ressursallokering uten en regneprosess som tar med slike kombinasjoner.

På fig. 3 er vist hvordan regningen blir når man har tre forskjellige ressurskategorier, og man fortsatt har tilleggskravet at samme ressurs bare kan benyttes ett sted på samme tid. I denne modellen er dessuten innført tidsavstander mellom blokkene. Oppgaven er i virkeligheten et optimeringsproblem som går ut på å velge ut den (utførelses)rekkefølge som for det første samsvarer med kravene i nettverksmodellen og samtidig gir gunstigst mulig leveringstid. De stiplede pilene angir den gunstigste rekkefølge som man har funnet frem til. Blokken merket med A16 må splittes slik at noe av den utføres før og noe etter blokken merket A15.

Problemet med å løse ressursregningen etter den

direkte metode med splitting av aktivitetene, er i vårt prosjekt løst ved en iterasjonsprosess som konvergerer meget raskt. Eksempler med inntil 1000 aktiviteter fordelt på 20 ressurskategorier, har funnet sin løsning ved to gangers gjennomregning.

Denne måten å løse ressursregningsproblemet på, åpner muligheten ikke bare for å få en realistisk ressursallokering for byggeprosjekter, men også for vidtrekkende rasjonalisering i arbeidet med å forme ut nettet og sette opp data-listen.

Utnyttelse av detaljnett

Det er et betydelig arbeide å forme et nettverk for en byggeprosess med det formål å kunne utføre ressursallokeringen automatisk når alle detaljer skal spesifiseres på tradisjonell vis, og på grunn av detaljrikdommen blir modellen heller ikke særlig oversiktlig.

Disse ulempene kan motvirkes i vesentlig grad ved å bygge opp nettet trinn for trinn av detaljnett, som betraktes som standardiserte byggesteiner. Prinsippet er ikke nytt, men på grunn av måten ressursregningen utføres på, har det her lyktes å få til særdeles fleksible løsninger.

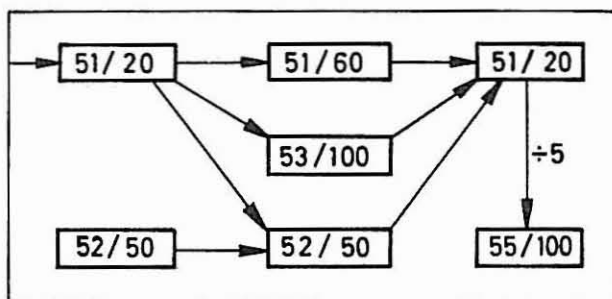


Fig. 4. Betongvegger i en etasje.

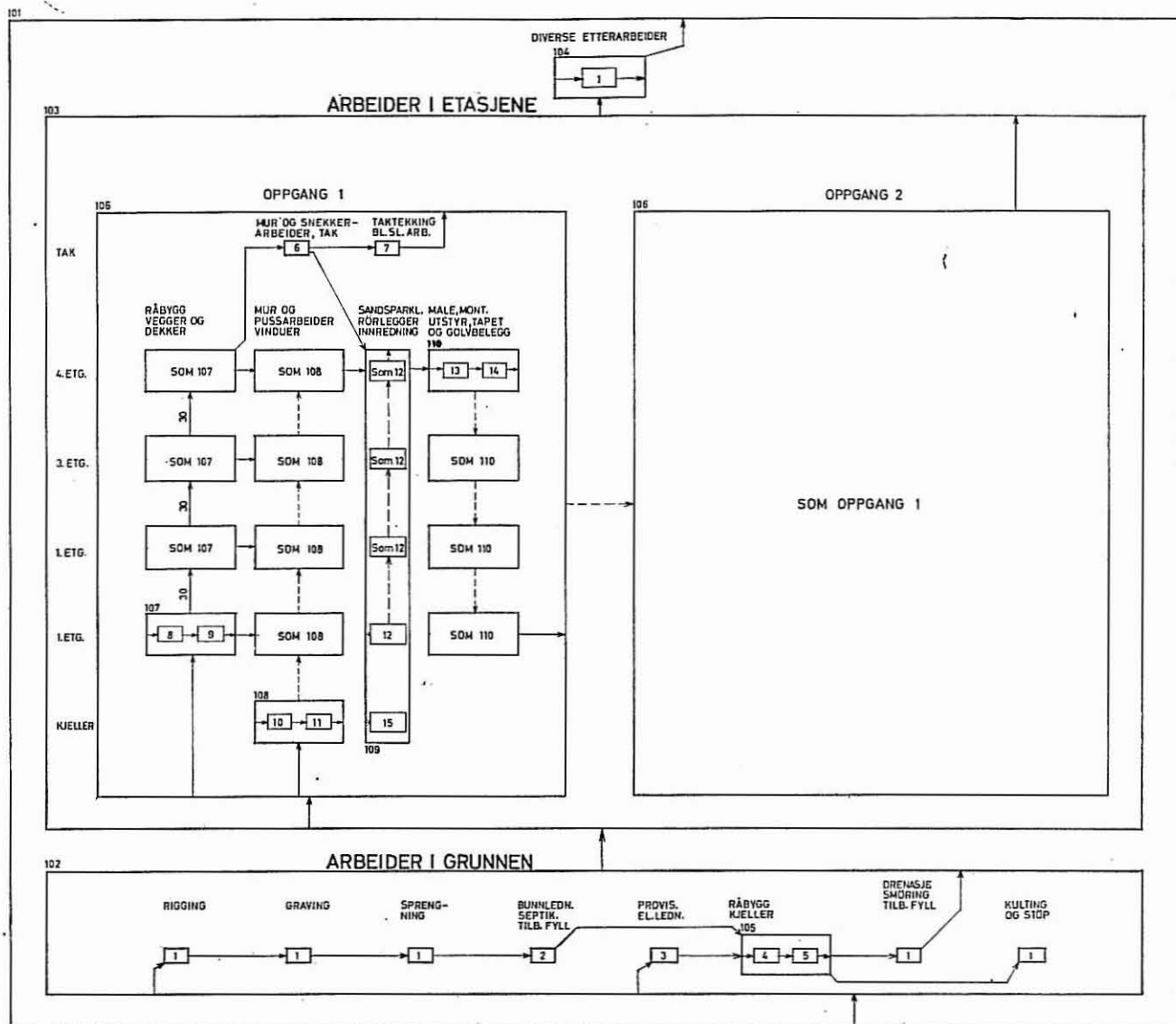
Fig. 4 viser et detaljnett som bør kunne brukes om igjen mange ganger i samme bygg og også i andre prosjekter. Det som er spesielt ved denne utformingen er:

1. Vi har satt en ramme rundt nettet for å kunne bruke disse detaljene som en blokk i et større nett
2. Blokkene inne i nettet inneholder bare en ressurstype angitt ved et nummer foran en skråstrek. Etter skråstreken kommer en prosent. Den tid blokkene legger beslag på, blir bestemt senere ved at man leser inn massene for etasjen, multipliserer med basistid og plasserer den angitte prosent av samlet timeforbruk i blokken. Når bemanningen er kjent, er dermed nødvendig tidforbruk gitt.
3. Blokker som det ikke fører pil frem til, blir av programmet oppfattet slik at de kan utføres når som helst fra det tidspunkt vedkommende faggruppe begynner på plassen. I tilfellet angitt på figuren virker dette slik at armerernes tid til bøyning og kapp blir brukt som utfyllingsarbeide mellom de tvangsstyrte operasjoner for legging og binding.
4. Programmet aksepterer negative tidsavstander, for å angi overlappning av aktiviteter. + 5 på pila frem til siste blokk, støpningen, tillater derfor støpningen satt i gang fem timer før forskallerne er endelig ferdig.

Sammenkobling av detaljnett

På fig. 5 er vist hvordan et nettverk bygget opp etter disse prinsipper tar seg ut, og på fig. 6 er vist de tilhørende detaljnett. Sammenkobling av detaljnett

Fig. 5.



VANLIG REKKEFØLGEOPPGAVE A → B A MÅ AVSUTES FØR B KAN PÅBEGYNNES
 FELLES REKKEFØLGEOPPGAVE A - -> B FØR MAN KAN UTFØRE EN BESTEMT AKTIVITET I B MÅ TILSVARENDE AKTIVITET I A VÆRE UTFØRT

til nye blokker kan by på problemer fordi det er vanskelig å skille ut detaljnettene med bare én startbetingelse. Detaljnett blir derfor ofte gitt flere startbetingelser. Vi har valgt den konvensjon at vi kan gi en felles rekkefølgeoppgave for to samleblokker. Den oppfattes da slik at for de to nett som oppgaven gjelder, er det avhengighet punkt for punkt i nettene. Dette sammenholdt med ressursregningsprinsippene gir betydelige muligheter for rasjonalisering av input-data og tegnearbeide.

For et nett av en temmelig sammensatt husbyggingsoppgave fikk vi etter disse prinsippene spesifisert et nett som består av ca. 1300 blokker ved å spesifisere 73 blokker, og når det gjelder rekkefølgeoppgavene, var det oppgitt ialt 360 som ga vel 2800 rekkefølgestriksjoner i samlenettet.

Utskrifter

Det er neppe hensiktsmessig i utskriftene å oppgi tidligste start og seneste slutt og slakk for alle punkter. Vi har tatt sikte på bare å oppgi start og slutt for utvalgte samleblokker slik som vegger i en etasje o. l. Utskriften blir da så vidt oversiktlig at vi kan regne med at den blir studert.

Ressursallokeringen tenkes derimot vist i grafisk form utskrevet på hurtigprinter, noe i likhet med

det vi tidligere har funnet frem til i vårt terminplanopplegg. På et ark er det plass til 13 uker, og dersom man foretar oppdatering hver 4de eller 6te uke, vil man alltid ha et ressursallokeringsoppsett som strekker seg noen uker fremover.

Avsluttende bemerkninger

Det er her gjort rede for endel synsmåter som er kommet frem under arbeidet med å tilpasse nettverks-teknikken til entreprenørenes praktiske behov i husbyggingssektoren. Videre arbeide må utføres blant annet for å avklare praktisk utforming av detaljnett med videre.

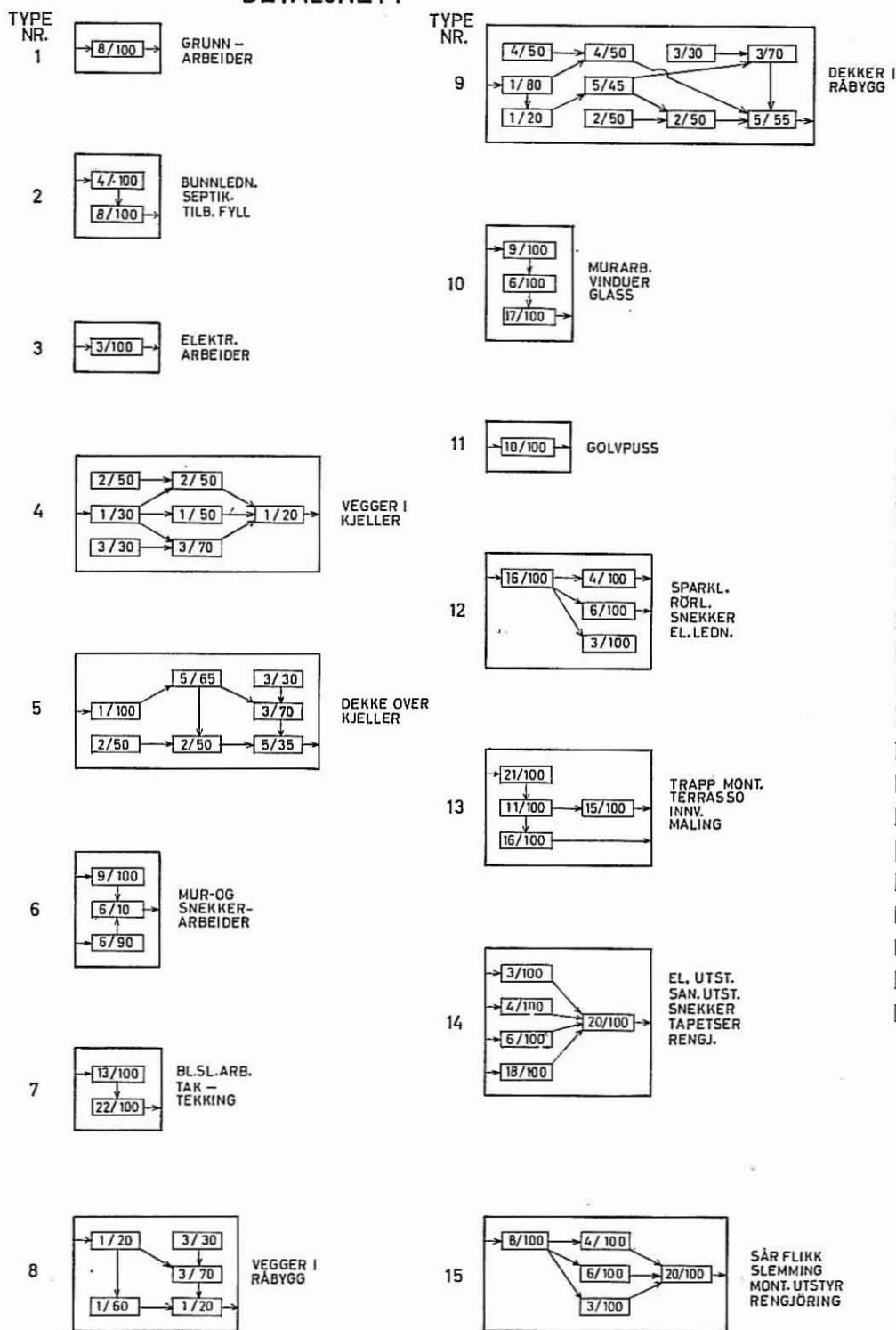
Men det er også klart at enhver planleggings-systematik vil henge i luften dersom den ikke er koblet sammen med en returinformasjon, vedrørende data. Vi håper på hjelp fra entreprenørhold til videre eksperimenter med disse probleme og vil også i neste fase forsøke å bygge denne systematikken sammen med kostnadskalkyle, kostnadovervåking og returinformasjon vedrørende faktiske kostnader.

Videre vil vi forsøke å utvide ressursallokeringen til flere parallellt løpende prosjekter, slik at en entreprenør kan kartlegge sitt ressursbehov samlet for sin virksomhet.

Målsettingen er ærgjerrig, men den er ikke utopisk.

Fig. 6.

DETALJNETT



RESSURSLISTE:

- 1/ FORSKALINGSARBEIDER
- 2/ ARMERINGS
- 3/ ELEKTRIKER
- 4/ RÖRLEGGER
- 5/ BETONG
- 6/ SNEKKER
- 8/ GRUNN
- 9/ MUR
- 10/ PUSS
- 11/ KUNSTSTEIN
- 13/ BLIKKENSLAGER
- 15/ STÅL
- 16/ MALER
- 17/ GLASS
- 18/ TAPETSER
- 20/ RENGJÖRING
- 21/ TRAPPEMONTASJE
- 22/ TAKTEKKING