SÆRTRYKK 112

Treningseffekten og planleggingen av byggearbeider

Av lic.techn. REIDAR HUGSTED
Norges byggforskningsinstitutt

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT

OSLO 1965

Norges byggforskningsinstitutt

Treningseffekten og planleggingen av byggearbeider

Lic. techn. Reidar Hugsted, Norges byggforskningsinstitutt.

Norges byggforskningsinstitutt har i arbeidet med planlegging av byggearbeider fått erfaring for at man må regne med mer tid ved starten av et byggearbeid sammenlignet med tidforbruket etter at arbeidet har vært drevet en stund. En rapport om dette, «The influence of repetition on the time consumption of site operations», ble utarbeidet i anledning av CIB's — Den internasjonale organisasjon for byggforskning og dokumentasjon — kongress i København i august i år. Temaet har også vært behandlet i NBI's foredragsserie våren 1965.

I artikkelen legges NBI's erfaringer frem. Den viktigste konsekvens av disse er at man gjennom rasjonelt planlagt og utført seriebygging vil kunne oppnå betydelige produktivitetsforbedringer.

Den pågående industrialisering i bygge- og anleggsvirksomheten gir seg i første rekke uttrykk som mekanisering, altså erstatning av manuell arbeidskraft med maskiner. Betydningen av å innføre industrielle organisasjonsmetoder ligger også klart i dagen, og det er stor interesse for planleggingssystematikk.

Ved planleggingen og gjennomføringen av byggearbeider er det viktig å utnytte alle muligheter for gjentakelser av arbeidsoperasjoner. Dette oppnås enklest når prosjektene utformes med like eller tilnærmet like enheter, såkalt seriebygging. Dermed får man muligheter til gjentakelser av arbeidsoperasjoner og bedre utnyttelse av maskiner, og det kan legges ned relativt mer arbeid i prosjektering og planlegging pr. enhet. Lange serier er en forutsetning for elementbygging og gir også bedre grunnlag for bruk av standardiserte komponenter. Større serier kan videre ses i forbindelse med utvikling av byggesystemer hvor estetiske og bruksmessige krav er tilpasset selve byggemetoden. Dette gir bedre muligheter til å utnytte gjentakelser ikke bare innen et enkelt prosjekt, men fra prosjekt til prosjekt.

Det som skal behandles i denne artikkel er den betydning en kontinuerlig produksjon har for forbruket av arbeidskraft, og hvordan dette utnyttes i planleggingen av byggearbeider. Det er derfor nødvendig å ta planleggingssystematikken som utgangspunkt.

Terminplanlegging.

Bakgrunnen for NBI's arbeid vedrørende treningseffekten er instituttets utvikling av den såkalte terminplanlegging. Dette er en systematikk som egner seg for planlegging av seriebetonte byggearbeider, f. eks. boligblokker og rekkehus. Boligblokker er mest typisk, men systematikken har vært brukt på flere forskjellige typer av arbeider, også ombyggingsarbeider.

En terminplan viser oppdeling i arbeidsoperasjoner, fordelingen av operasjonene på forskjellige lag, bemanning, koordinering og rekkefølge av operasjonene. Et lag skal ha kontinuerlig arbeid, men vil oftest utføre flere forskjellige arbeidsoperasjoner slik at laget veksler mellom disse etter et bestemt mønster. Den minste del av bygget et lag stedfestes til, kalles en seksjon. Seksjonene er nummerert slik at en av planen også kan se hvor arbeidet foregår til enhver tid. *Fig. 1* viser koordineringen av forskalings-, armerings- og støpelag på et råbygg.

Når arbeidstiden for en bestemt arbeidsoperasjon på en seksjon skal kalkuleres, beregnes først en masse, f. eks. antall m^2 forskaling, m^3 betong, tonn armering osv. Arbeidstiden kalkuleres på grunnlag av en standardtid uttrykt f. eks. i t/m^2. Standardtiden er knyttet til en bestemt arbeidsmetode og gir forbruket av tid pr. enhet for øvede folk når arbeidet har

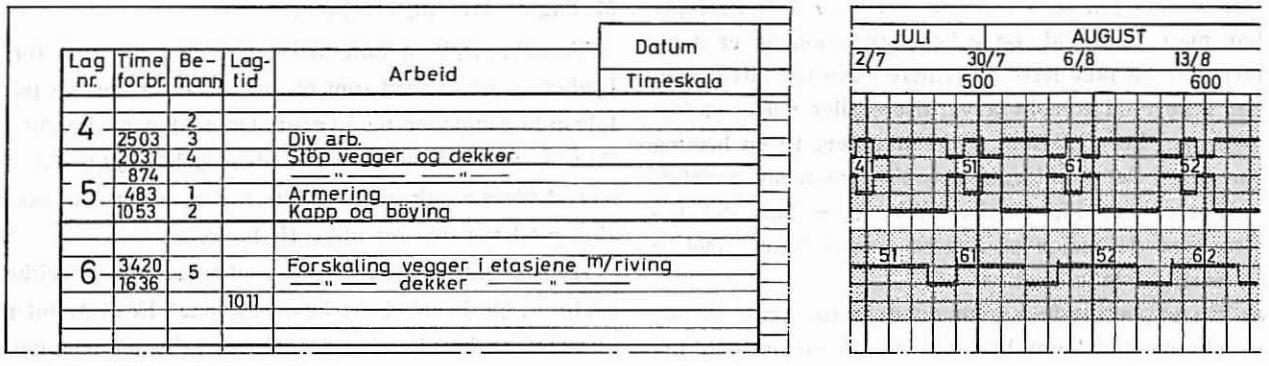

Fig. 1. Arbeidsplan for forskaling, armering og støping.

pågått så lenge at prosessen er det vi kaller *innkjørt*. Laget forutsettes altså for det første å være samtrent samtidig som folkene har en viss rutine.

Seksjonene kan være f. eks. en etasje, en etasje i en oppgang eller en hel oppgang. Innenfor et bestemt prosjekt er seksjonene som regel tilstrekkelig like til at arbeidsmetoder, tilrigging og øvrige betingelser er ensartet fra bygg til bygg. Ofte er seksjonene helt like, og følgelig blir arbeidstiden for en bestemt arbeidsoperasjon lik for samtlige seksjoner. Dermed blir også den tid laget skal bruke pr. seksjon, lik for alle seksjoner.

Den arbeidstid som regnes ut på grunnlag av standardtiden, kalles basistiden for vedkommende seksjon og arbeidsoperasjon. Skjer planleggingen på grunnlag av slike basistider, betyr dette at samtlige lag forutsettes innkjørte. Det er naturlig å foreta dimensjonering og koordinering av lagene på grunnlag av innkjørte lag. Spørsmålet er hvordan man skal ta hensyn til de forsinkelser som arbeidslederne av erfaring vet man får når arbeidet starter.

Til å begynne med ble dette gjort i forbindelse med dateringen av planen. Denne ble gjort rommelig slik at man hadde noe å gå på fra starten. Dette er imidlertid en uhensiktsmessig løsning. De planlagte basistider var urealistiske i starten, noe som brøt ned respekten for planleggingen. Det var derfor nødvendig i selve planleggingsrutinen å ta hensyn til startvanskelighetene ved å gi innkjøringstillegg på toppen av basistiden. Tillegget måtte være størst til å begynne med, deretter avtagende. Den teori NBI siden arbeidet seg frem til, har sin bakgrunn i denne rent praktiske problemstilling.

Treningseffekten.

At arbeidstiden for en viss arbeidsoperasjon synker fra første gang operasjonen blir utført og utover etter som operasjonen gjentas, er kjent fra undersøkelser i stasjonær industri. Mest kjent er den såkalte 80 %-regelen som går ut på at middelverdien for en operasjonstid blir redusert til 80 % når antallet identiske operasjoner fordobles. Det finnes også andre formler. Undersøkelsene i den stasjonære industri gjelder serieproduksjon og én-mannsbetjening. I byggefaget har man lagarbeid, og arbeidsoperasjonene er sammensatte og ikke lette å definere eksakt. I sitt arbeid har ikke NBI forsøkt å verifisere eller velge en formel, men heller forsøkt å komme frem til en løsning basert på det planleggingsproblem man sto overfor.

Hva er egentlig *treningseffekten*, og kan det utformes en definisjon på hva en *gjentakelse* er? Det er foreslått å skille mellom:

a) En opplæringsfase hvor en operatør erverver seg „know how" om hvordan en operasjon skal utføres.

b) En rutinefase hvor operatøren får større kjennskap til operasjonen, og hvor han gjennomfører små forbedringer i arbeidsmetoder og organisasjon.

Den første fasen deles igjen i en *organisasjonsfase* hvor arbeidsledelsen er avgjørende og den virkelige *treningsfasen* hvor operatøren lærer hvordan operasjonen skal utføres.

Ut fra dette kan man diskutere hva som kan oppnås gjennom bedre arbeidsledelse og organisert trening og opplæring, men å si hvor stor andel i et aktuelt tidsforløp de enkelte faser har, er ikke mulig uten gjennom omfattende undersøkelser.

En definisjon av antallet gjentakelser er også vanskelig. I praksis vil en ha en rekke muligheter, og det er vanskelig å si hvilken gjentakelse man bør referere til. Skal det f. eks. forskales betongdekker, vil det være gjentakelser fra etasje til etasje, fra bygg til bygg, og et utall av gjentakelser i montering av støtter, strø, bjelker og kledning.

I undersøkelsene fra industrien var kravet identiske operasjoner og direkte kontinuitet. Også det siste vil man ha vanskeligheter med å oppnå på en byggeplass. De enkelte lag utfører oftest flere arbeidsoperasjoner, og det oppstår ofte diskontinuiteter i arbeidet på grunn av dette og fordi laget flytter fra seksjon til seksjon eller fra bygg til bygg. Hver enkelt arbeidsoperasjon kan igjen deles i deloperasjoner som har diskontinuiteter.

Referansen til antall gjentakelser kan derfor være høyst tvilsom idet det er mange valgmuligheter. Utgangspunktet for NBI's arbeid har vært at man i planleggingen etablerer betingelser som gjør at de enkelte lag kan arbeide kontinuerlig selv om de veksler mellom forskjellige arbeidsoperasjoner. Er arbeidslagene dimensjonert, koordinert og ledet på en slik måte at de har kontinuerlig arbeid med samme bemanning på én eller noen få arbeidsoperasjoner over en lengre tidsperiode, så har vi en form for *organisatorisk gjentakelse* som med tiden gir lavere arbeidstid pr. enhet. Følgelig kan basistiden brukes direkte som parameter, dersom denne er kjent.

Måling av treningseffekten.

Treningseffekten kan måles ved å registrere forbruket av arbeidstid som et arbeidslag bruker på påfølgende seksjoner på bygget. Operasjonene behøver ikke å være identiske når det gjelder størrelsen. *Fig. 2* viser resultatet av slike målinger for like seksjoner til venstre og ulike til høyre.

Hvor raskt tiden avtar er avhengig av en rekke faktorer. Er de enkelte arbeidere øvede? Er materialer og arbeidsteknikk nye? Har laget arbeidet sammen tidligere? Hvordan ledes arbeidet? Styres arbeidet

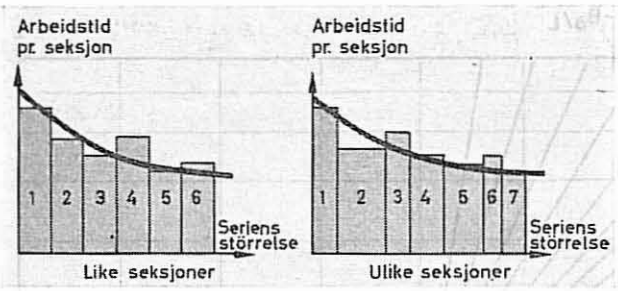

Fig. 2. Forbruk av arbeidstid for arbeidsoperasjoner som følger etter hverandre. Til venstre for like seksjoner, til høyre for ulike seksjoner.

helt eller delvis av maskiner eller av andre arbeidsoperasjoner?

Resultatet av dette er at vi kan vente oss store variasjoner i innkjøringsforløpet. Ser vi på Fig. 2, kan vi på grunnlag av målingene tilpasse en kurve som etter en viss tid flater ut. Vi har da nådd det vi tidligere kalte basistiden idet vi ikke kan vente oss ytterligere reduksjon i arbeidstiden så lenge bemanning, arbeidsteknikk og andre forhold er uforandret. Det er denne basis som er grunnlaget for å beregne standardtider.

Matematisk modell.

Beregningen av arbeidstider i terminplanen foregår som nevnt på grunnlag av standardtider og masser som gir basistider, dvs. tider som oppnås etter at prosessen er innkjørt. Det vi trenger er en metode som gjør det enkelt å justere basistidene slik at disse får et tillegg i begynnelsen av prosessen. Som nevnt foregår altså justeringen på grunnlag av basistiden for prosessen, og en unngår å referere til antall gjentakelser.

Justeringen blir gjort på grunnlag av følgende formel:

$$1] \qquad T = B + L \cdot e^{-B_0/L}\left(1 - e^{-B/L}\right)$$

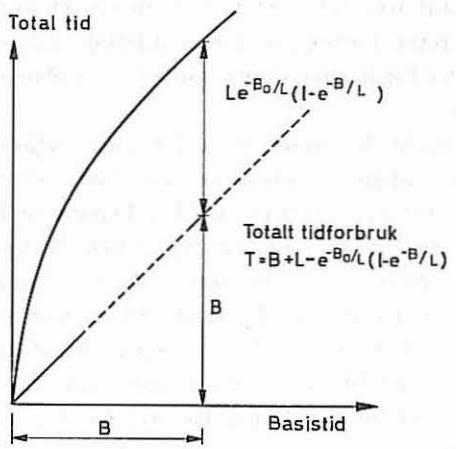

Fig. 3. Kurve for totalt tidforbruk i forhold til basistiden.

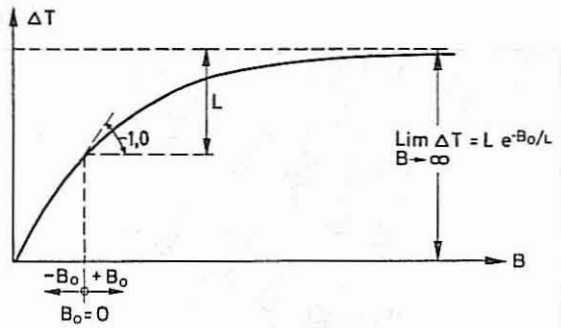

Fig. 4. Kurve for korreksjon av basistid.

Her er: T totaltiden (sum)
B basistiden (sum)
B_0 og L parametre som bestemmer hvor stort tillegget skal være.

Fig. 3 viser hvordan formelen kan oppfattes grafisk. Basistiden B, som forutsettes kjent, avsettes langs den horisontale aksen mens den totale tid T avsettes vertikalt. Hvis det ikke forekom noen innkjøring, vil totaltiden være representert av en linje gjennom origo med 45° stigning.

Det totale innkjøringstillegg ΔT blir:

$$[2] \qquad \lim_{B \to \infty} \Delta T = L \cdot e^{-B_0/L}\left(1 - e^{-B/L}\right) = L \cdot e^{-B_0/L}$$

Fig. 4 viser hvordan tillegget ΔT avhenger av basistiden. Parametrene B_0 og L bestemmer hvor på kurven man vil begynne og hvor stort det totale tillegg blir.

Deriveres formelen for T med hensyn på basistiden B, får vi et uttrykk for stigningen på kurven og dermed for hastigheten på prosessen.

$$[3] \qquad \frac{dT}{dB} = 1 + e^{-Bo/L} \cdot e^{-B/L}$$

$\lim_{B \to \infty} \frac{dT}{dB} = 1$ dvs. at den innkjørte prosess har en hastighet uttrykt ved en vinkelkoeffisient på 1. Gir vi et tillegg ΔT betyr dette at vi alltid starter med større vinkelkoeffisient, dvs. større tidsforbruk. Settes f. eks. $B_0 = 0$ og lar vi $B = 0$ får vi:

$$\lim_{B=0} \frac{\delta T}{\delta B} = 2$$

Er $B_0 = 0$ blir vinkelkoeffisienten 2 i starten av prosessen. Dette betyr at vi bruker dobbelt tid i starten sammenlignet med en innkjørt prosess. Generelt er vinkelkoeffisienten i starten:

$$[4] \qquad \lim_{B=o} \frac{dt}{dB} = 1 + e^{-B_0/L}$$

Her kan man like godt se bort fra basistiden og bare betrakte vinkelkoeffisienten for tilleggstiden ΔT som er:

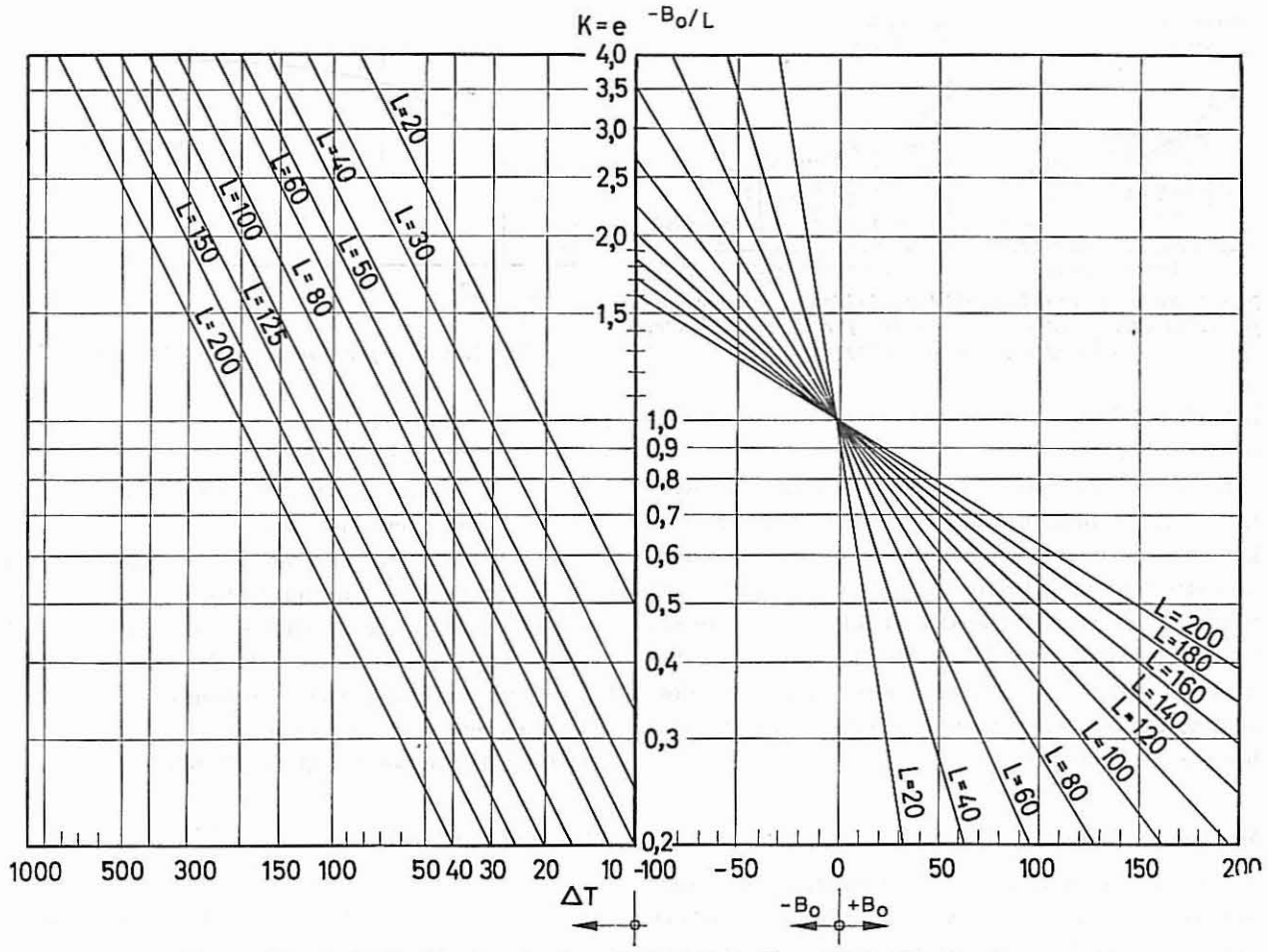

Fig. 5. Nomogram som viser forholdet mellom K, L, Bo og ΔI.

[5] $$k = \lim_{B=0} \frac{\Delta dT}{dB} = e^{-B_0/L}$$

Er $B_0 = 0$ blir $k = 1$ som altså tilsvarer at laget starter med å bruke dobbelt tid sammenlignet med innkjørt prosess.

For $B_0 < 0$ blir $k > 1$ og for $B_0 > 0$ blir $0 < k < 1$

Av formel [2] fås det totale tillegg $\Delta T = L$ for $B_0 = 0$. For $B_0 < 0$ blir $\Delta T > L$ og for $B_0 > 0$ blir $0 < \Delta T < L$. Sammenhengen mellom parametrene fremgår for øvrig av nomogrammet, *Fig. 5*. I nomogrammets høyre del kan man velge forskjellige verdier for B_0 og hjelpeparameteren k, dvs. vinkelkoeffisienten for ΔT. Av den venstre del kan man bestemme ΔT for forskjellige verdier av L.

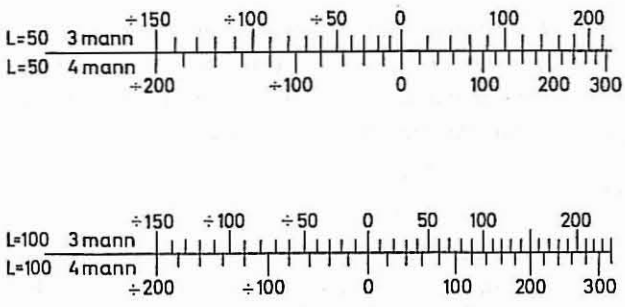

Fig. 6. To eksempler på en målestav.

Bruk av modellen.

Første del av planleggingen består i å fastlegge basistider for forskjellige arbeidsoperasjoner. Lagene dimensjoneres og man finner basis lagtid ved å dividere total basistid med bemanningen. Dersom man ikke foretar korreksjon for innkjøring, kunne disse basistider for lagene avsettes direkte på planleggingsskjemaet.

Ved praktisk planlegging utføres korreksjonen grafisk ved hjelp av spesielle målestaver eller planleggingsstaver. Avsetting av den beregnede basistid gir da uten videre de tillegg vi ønsker. Problemet er derfor å velge den riktige skalaen, dvs. en skala med de riktige parametre B_0 og L. Eksempler på slike skalaer er vist i *Fig. 6*. Målestaven gir oss altså mulighet til å fordele et bestemt innkjøringstillegg beregnet etter formel [1] når basistidene er kjent, dvs. beregnet.

Valget av parametre er en erfaringssak. Det har ofte

vist seg i praktisk planlegging å være fornuftig å sette $Bo = 0$, mens det aktuelle tillegg ligger i området 50–200, altså L i området 50–200 timer.

Et lag som arbeider kontinuerlig, disponerer i alt ca. 200 timer pr. måned. I de arbeider det her er snakk om, er det aktuelt å organisere lag som arbeider sammen i flere måneder, evt. ett år eller mer. Tillegg på fra 50–200 timer betyr således at lagene får fra 1 uke og opp til 1 måned i tillegg til basistiden (lagtid). Planleggingen forutsetter en forkalkyle av arbeistider på basis av antatte standardtider og innkjøringsforløp. For å vinne erfaring og oppnå bedre vurderingsgrunnlag, er det nødvendig å sammenligne kalkulerte basistider og standardtider med oppnådde resultater. Selv om en mangler erfaringstall på planleggingsstadiet, kan imidlertid basistider og innkjøringsforløp diskuteres med formenn og baser som har erfaring fra lignende arbeider. Forskjellen mellom planlagt tid og oppnådd tid vil ikke bli så stor at planleggingsarbeidet blir mislykket. På den annen side kan det gjøres atskillig mer når det gjelder å bearbeide resultater systematisk for å skaffe frem data for planlegging.

En grei måte å følge opp planer på er å gjøre en enkel timeskriving for de planlagte arbeidsoperasjoner og å sammenligne summen av brukt tid med summen av planlagt tid. *Fig. 7* viser et antatt tidsforløp sammenlignet med et observert tidsforløp. Den kalkulerte basistid er trukket fra. Inntil de første 2000 timer av basistiden ligger det totale timeforbruk 20 % over det planlagte. Dette kan skyldes at basistidene og dermed standardtidene har vært for lavt anslått og en undervurdering av innkjøringstillegget. I planleggingen var L satt lik 50 og Bo lik 0. Standardtidene burde ha vært ca. 5 % høyere og $L = 200$. Knekken i den observerte kurven skyldes en forandring i laget hvor 2 av 5 mann ble skiftet ut med nye folk. Dette resulterte i en ny innkjøring. Selve kontrollen av L kan foregå ved å legge kurver for forskjellige verdier av L over den observerte kurven. En slik kontroll er enkel og nøyaktig nok i praksis.

Erfaringene med bruk av planleggingsstavene er gode. Teknikken blir akseptert av arbeidsledere, og gjennom diskusjoner av aktuelle arbeidsoperasjoner bestemmes hvilke staver som skal brukes, altså innkjøringstilleggets størrelse. Etter som arbeidslederne har erfaring for at arbeidet tar lenger tid til å begynne med, kan de ofte bidra med opplysninger om hvor mye ekstra tid som skal legges til, og hvor lenge virkningen av innkjøringen er merkbar.

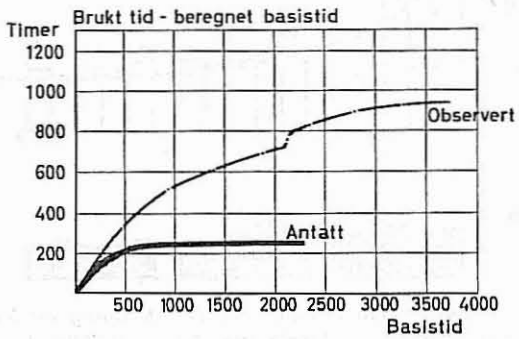

Fig. 7. Antatt og observert sumkurve for tidkorreksjon.

Eksempler på observerte tider.

For et kontorbygg er det observert en del resultater som kan brukes til å diskutere hvor stor treningseffekten er på forskjellige typer av arbeidsoperasjoner. Det var i alt 6 like etasjer, og tidene for en del arbeidsoperasjoner ble registrert på 1., 2., 3. og 6. etasje. I diagrammene vises bare relativ tid, idet basistiden pr. etasje er satt til 1. Kontorhuset hadde en bærende konstruksjon bestående av pilsdekke på søyler. Dekket hadde kantdrager, og huset har en indre kjerne med trappehus og heisesjakter.

Fig. 8 viser forskaling av betongplate med noenlunde normalt innkjøringsforløp for forskalingsarbeidet. *Fig. 9* viser tilsvarende for kantdrageren. Ved begge disse arbeider er det tilstrekkelig plass og ingen spesielle vanskeligheter for øvrig.

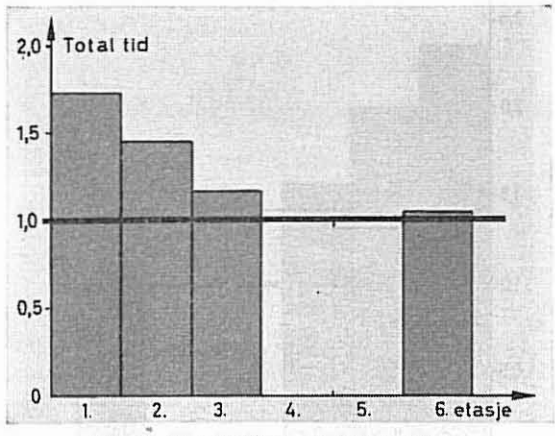

Fig. 8. Forskaling av betongplate.

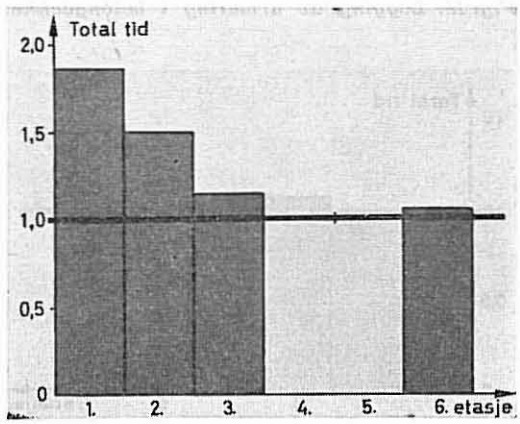

Fig. 9. Forskaling av kantdrager.

Norges byggforskningsinstitutt

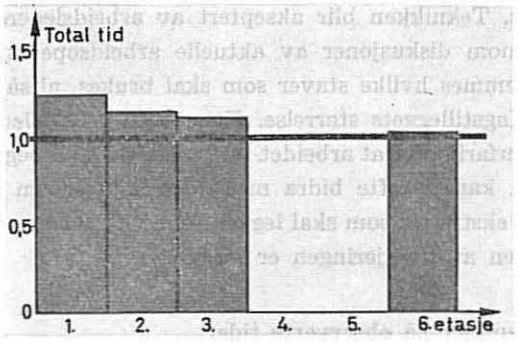

Fig. 10. Forskaling av vegger i trappehus.

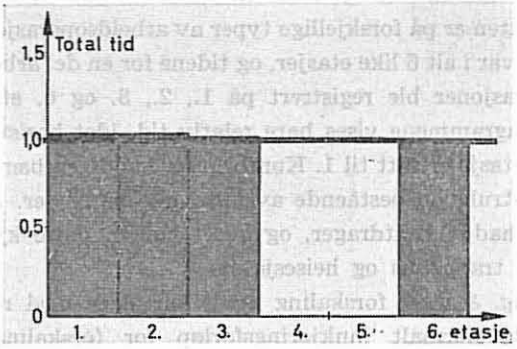

Fig. 11. Forskaling av reposer i trappehus.

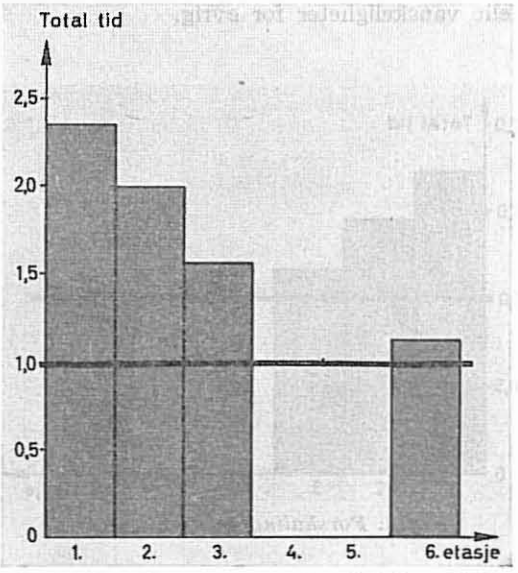

Fig. 12. Legging av armering i betongdekke.

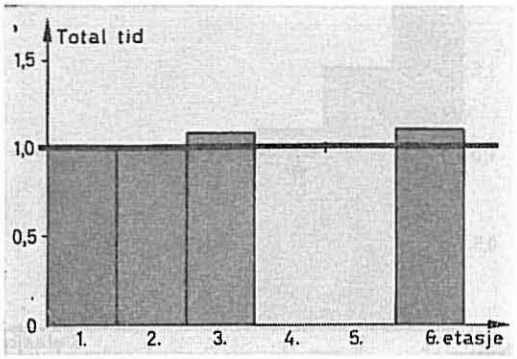

Fig. 13. Støping av betongplater i etasjer.

Fig. 10 viser innkjøringen ved forskaling av vegger i trappehus og *Fig. 11* for reposene. Her er det trangt, og arbeidet kan i seg selv karakteriseres som vanskelig slik at de best øvede og erfarne folk utfører dette.

Legging av armering på dekke, søylehoder og kantdragene var relativt komplisert. Her ble det observert en betydelig treningseffekt, *Fig. 12*. Enda mer markant var denne ved monteringen av prefabrikerte søyleforskalinger, Ved sistnevnte type av arbeider kan man relativt raskt oppnå små metodeforbedringer som gir seg utslag i raskt avtagende tid pr. enhet.

For arbeider som styres av maskiner, f. eks. støping av dekker, som på det nevnte bygg ble utført med kran, vil tiden pr. dekke stige med heisehøyden, noe som fremgår av *Fig. 13*. Også i andre land har man gjort lignende erfaringer m. h. t. treningseffekten. *Fig. 14* viser registreringer gjort på et svensk småhusfelt. Langs y-aksen er antall timer pr. hus for en bestemt arbeidsoperasjon satt opp, og langs x-aksen antall hus i den rekkefølge arbeidet ble utført. *Fig. 15* viser registreringer utført i Vest-Tyskland på arbeidstidsforbruk på seriebygde boligblokker. *Fig. 16* viser to-

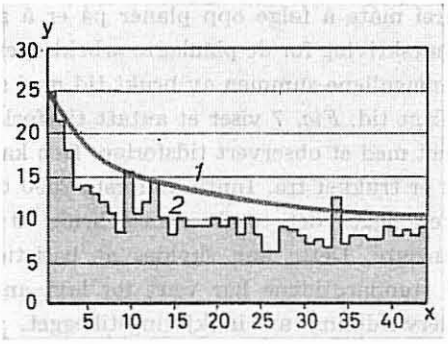

Fig. 14. Svenske erfaringstall for seriebygde småhus. Langs y-aksen timer pr. hus. Langs x-aksen husene i den rekkefølge de ble bygget.

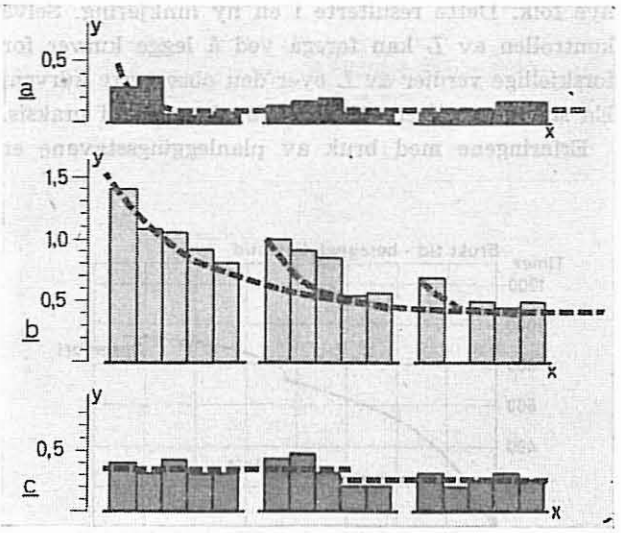

Fig. 15. Tyske erfaringstall ved seriebygging av leiligheter: a) Riving av forskaling. b) Montering av forskaling. c) Betongstøping.

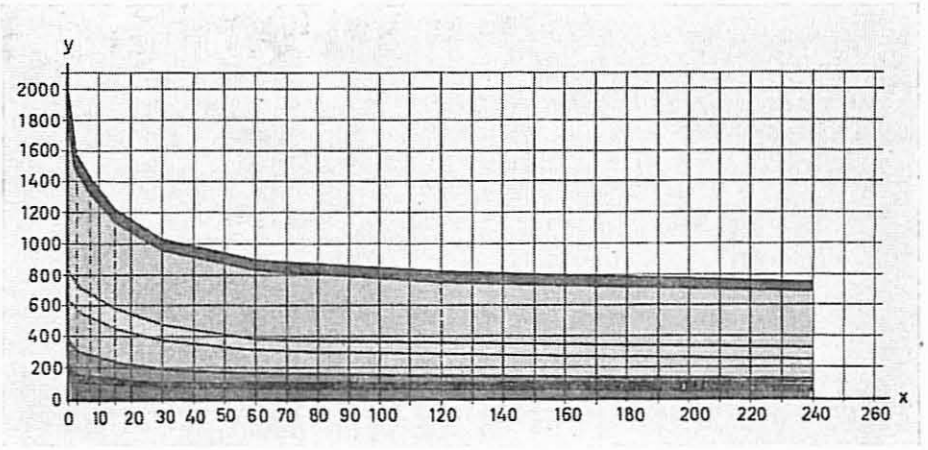

Fig. 16. Hollandske erfaringstall for seriebygde småhus. Lang y-aksen timer pr. hus. Lang x-aksen husene i den rekkefølge de ble bygd.

talt arbeidstidsforbruk for seriebygde småhus i Holland. Etter ca. 100 hus er arbeidstiden redusert fra 2000 timer til 800 timer pr. leilighet.

Konklusjon.

Både NBI's og andres erfaringer bekrefter at den såkalte treningseffekten eller gjentakelseseffekten ved mange arbeidsoperasjoner er betydelig. Det ser ut til at innkjøringen skjer relativt raskt. En viktig konsekvens av dette er at seriene ikke behøver være store for at man skal oppnå betydelige produktivitetsforbedringer. Etter NBI's erfaringer ser det ut til at man for arbeidslag som arbeider kontinuerlig på et fåtall arbeidsoperasjoner, vil oppnå full treningseffekt i løpet av 1–2 mndr.

Treningseffekten varierer meget sterkt etter arbeidets art. Enkle og mer tradisjonelle arbeidsoperasjoner når raskere til basis enn komplekse arbeidsoperasjoner og operasjoner som utføres i forbindelse med nye typer av konstruksjoner og byggemetoder. For slike arbeidsoperasjoner bør det derfor legges stor vekt på planlegging og tekniske detaljer som forenkler arbeidet. Arbeidsinstruksjon er også viktig.

Planleggingen av arbeidet og arbeidsledelsen påvirker i seg selv innkjøringsforløpet. Det er konstatert tilfeller hvor man ikke oppnår synkende tider, men isteden tilfeldige variasjoner opp og ned. Det har også vist seg at arbeidslag som splittes og får tilført nye folk, må starte på et nytt innkjøringsforløp. I det hele tatt ser det ut til at avtagende tider er betinget av god planlegging og organisering og stabile arbeidsforhold.

Treningseffekten og utnyttelsen av den i seriebygging både på enkeltprosjekter og ved systembygging gir muligheter for større arbeidsproduktivitet, lavere arbeidstid pr. enhet og lavere kostnader. Arbeidslagene oppnår kontinuerlig beskjeftigelse under ensartede betingelser over lengre tidsperioder. Dette fører til jevnere beskjeftigelse, mindre dagtid og god fortjeneste. Seriebygging vil selvsagt også ha konsekvenser på andre felter. Det som vi har diskutert her er bare hva den betyr for forbruket av arbeidskraft og hvordan dette utnyttes ved planlegging og organisering av byggearbeider.

Litteratur.

[1] *Gabrielsen, Einar: Innovingseffektens innvirkning på produksjonstiden.* Rasjonalisering, b. 7, nr. 1, 1962, s. 5—15.
[2] *Fjosne, Aamund og Rémery, R.: Productivity measurement in the building industry.* Paris 1962. 79 s. Productivity measurement review, special number, Febr. 1962.

AAS & WAHLS BOKTRYKKERI, OSLO