

Dimensjonering av laste- og transportutstyr ved masseforflytning

Av sivilingeniør Reidar Hugsted

Norges byggforskningsinstitut

OSLO 1962

Særtrykk av BYGG, nr 9, 1962



Dimensjonering av laste- og transportutstyr ved masseforflytning

Av sivilingeniør Reidar Hugsted

Norges byggforskningsinstitutt

DK 69,057.

1. Innledning.

Utviklingen av laste- og transportutstyr til bygge- og anleggsarbeider har gjort at en nå kan ta på seg arbeider av en størrelsesorden som for ikke så mange år siden ville ha vært utenkelig. Vi ser f. eks. i vårt land at fyllingsdammer er blitt en anerkjent konstruksjon. Slike anlegg krever stor innsats av laste- og transportutstyr. Dimensjoneringen av maskinparken foregår på basis av en vurdering av nødvendig lastekapasitet, mens transportutstyret tilpasses lastekapasiteten. Det problem som skal behandles her, er forholdet og avveiningen mellom laste- og transportkapasitet.

La oss ta for oss et enkelt tilfelle nemlig et steinbrudd hvor det er innsatt en gravemaskin og et antall trucker N . Truckene lastes, transporterer, tipper og returnerer tomme til maskin hvoretter det samme gjentar seg. Før trucken lastes på ny må den evt. vente på tur foran gravemaskinen. Ventetiden representerer dødtid for trucken. Gravemaskinen laster

truckene kontinuerlig bare avbrutt av vognskifting så lenge det er trucker til stede i bruddet. Er det ingen trucker, får gravemaskinen ventetid. Det er uten videre klart at antallet trucker innsatt i transporten har betydning for ventetidene. Økes trucktallet økes samtidig truckenes totale ventetid mens gravemaskinens ventetid reduseres. Tradisjonelt avpasses antall trucker på følgende måte:

T_T = transporttid i min. dvs. truckens syklustid eksklusiv laste- og ventetid ved gravemaskin.

T_L = gravemaskinens lastetid min/lass.

N = antall trucker.

$$N = \frac{T_T}{T_L} + 1.$$

Ved denne dimensjonering er forutsetningen at T_T T_L representerer middeltider for driften. Det er en alminnelig oppfatning at antallet trucker skal være så stort at ventetiden for gravemaskinen blir svært

liten. Begrunnelsen for dette er at gravemaskin-kostnaden er større enn truck-kostnaden slik at det er bedre at trucken venter enn at gravemaskinen gjør det. Dimensjoneringen foregår imidlertid ikke på grunnlag av en bestemt av-veining mellom ventetidene, men er snarere å betrakte som en empirisk metode som anvendes fordi den er logisk og enkel og ikke krever mye informasjon om driften.

Det er klart at en ved å øke trucktallet oppnår bedre utnyttelse av gravemaskinen og derfor en kapasitetsforbedring, men dette gir til gjengjeld økede totale kostnader. Hvor langt en vil gå i det enkelte tilfelle, er avhengig av hvor mye en kapasitetsutvidelse verdsettes til. Grunnlaget for vurderingen er imidlertid om en på forhånd kan si hvilken kapasitetsutvidelse eller forminskning en variasjon i trucktallet gir. Dette er riktignok bare én side av problemet, men kostnadene bør heller vurderes på grunnlag av forholdene i hvert konkret tilfelle, idet det kan bli spørsmål om investering, bruk av ledig truck-kapasitet etc.

2. Kjøproblemet.

Fig. 1 gir et skjematisk bilde av den køsituasjon vi finner i bruddet.

Her er λ = midlere antall ankomster pr tidsenhet.

μ = midlere antall lass pr tidsenhet når lasting pågår.

Truckene stiller seg i kø for å bli lastet og ekspederes i den rekkefølge de kommer til bruddet. På grunn av varierende tidsintervaller mellom de enkelte ankomster og likeledes varierende lastetider vil køen, dvs. antallet trucker, som venter på lass variere. I dette tilfelle vil køen teoretisk variere mellom 0 og $(N \div 1)$ trucker hvis det totalt er innsatt N trucker i driften.

Kan vi nå bestemme midlere antall trucker i køen og midlere ventetider pr. lass for gravemaskin og trucker som funksjon av λ og μ , kan dette brukes direkte til en optimal dimensjonering av systemet. I enkelte tilfeller kan en løsning settes opp ad teoretisk vei på grunnlag av sannsynlighetsfordelinger for laste- og ankomsttidsintervaller. Vi skal imidlertid her se på en annen løsning — en simulering — som direkte etterligner driften og som gjør det mulig å variere truckantallet på papiret og se virkningen av dette.

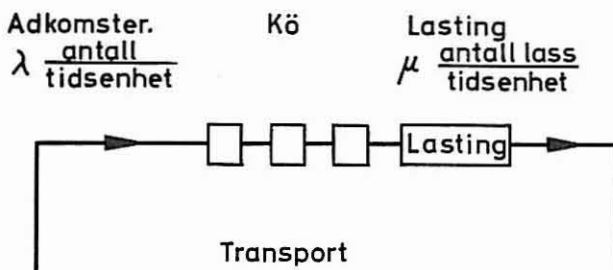


Fig.1. Køsituasjon i brudd.

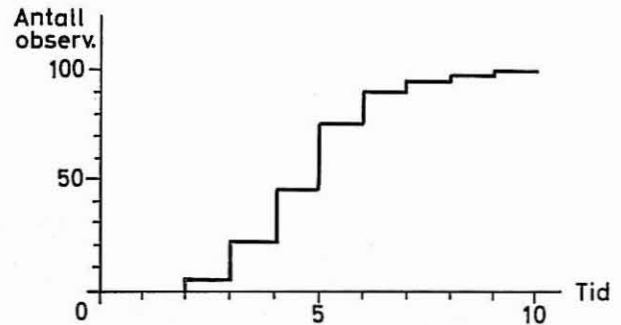


Fig.2. Kumulativ fordeling av observerte lastetider.

3. Simuleringen.

Sett at vi har målt lastetiden for en rekke lass. Vi kan da ordne dette materialet slik at vi noterer antall observasjoner mellom 0 og 1 minutt, mellom 1 og 2 minutter osv. og avsetter dette i et diagram som fig. 2 Vi har da en diskret kumulativ fordeling av lastetidene. Denne kan vi i de fleste tilfeller erstatte med en glatt kurve samtidig som vi forandrer ordinat-aksens målestokk som vist på fig. 3. Trekker vi nå et vilkårlig tall mellom 0 og 1 vil det til dette tallet svare en bestemt verdi av den variable, altså i dette tilfelle lastetiden. Ved hjelp av en tabell over vilkårlige tall kan vi altså skaffe oss et utvalg lastetider når vi kjenner den kumulative sannsynlighetsfordeling av lastetidene. På tilsvarende vis kan vi skaffe oss et utvalg av andre variable som vi måtte være interessert i. Ved steinbruddsdrift med én gravemaskin og N trucker vil ventetidene under driften være bestemt av transporttiden T_T og lastetiden T_L slik at vi ved å trekke ut et utvalg for hver av disse variable kan konstruere driften på papiret. For det simulerte tilfelle var antallet trucker lik 4 og simuleringen går da ut på å bestemme en tallrekke T_u som angir tidspunktene (kumulerte) for ferdiglastede trucker, og en tallrekke T_i som angir ankomsttidspunkter for tomme trucker. Har vi da:

T_{u_n} = utkjøringstid for n.te lass

$T_{i_{n \div 3}}$ = returtid for $(n \div 3)$ lass. Denne truck skal lastes med $(n \div 3 + 4) = (n + 1)$ lass.

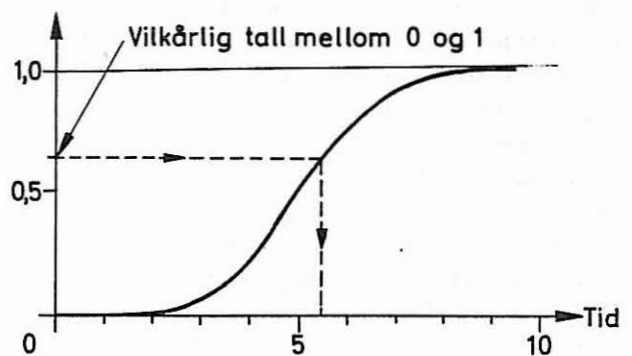


Fig.3. Kontinuerlig kumulativ fordeling av lastetider.

Betingelsen for ventetid for $(n + 1)$ lass er da at:

$$T_{u_{n+3}} > T_{i_{n+3}} \text{ med ventetid } T_{u_n} - T_{i_{n+3}}$$

Ventetid for gravemaskin har vi når:

$$T_{u_n} < T_{i_{n+3}} \text{ og ventetiden er } T_{i_{n+3}} \div T_{u_n}$$

For $T_{u_n} = T_{i_{n+3}}$ ingen ventetid.

Ved simuleringen bestemmes altså laste- og transporttider kontinuerlig, og ved kumulering av deltidene fremkommer ventetider for gravemaskin og trucker.

4. Studieteknikk og resultater.

I dette tilfelle ble driften studert med frekvenskamera som var stilt opp slik at det dekket selve bruddet med inn- og utkjøring av truckene. Bilder ble tatt hvert halve minutt, og etter fremkalling ble filmen analysert i et redigeringsapparat.

Fig. 4 viser observert og tilpasset fordeling for lastetiden og fig. 5 det samme for transporttiden. Begge de tilpassede fordelinger er γ -fordelinger og de tilsvarende kumulative fordelinger er da brukt ved simuleringen.

Simuleringen ble gjennomført for 4 trucker, altså i overensstemmelse med driften. Det generelle bilde var at truckenes ventetider var dominerende og gravemaskinens helt ubetydelige. Dette tilsvarer bildet av den virkelige driften.

Tabell 1. Observerte og simulerte middeltider.

	Obsbert	Simulert
Lastetid	7,64	7,57
Ventetid for gravemaskin ..	0,02	0,02
Transporttid	13,92	13,87
Ventetid pr. truck	8,55	7,95

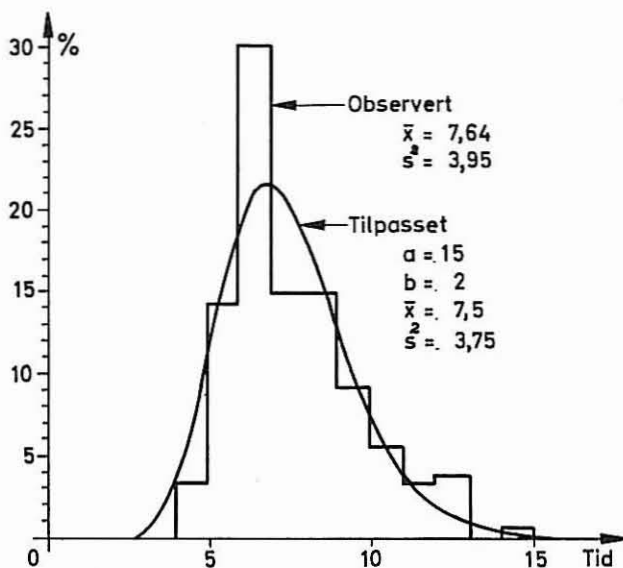


Fig.4. Observert fordeling og tilpasset γ -fordeling for lastetider.

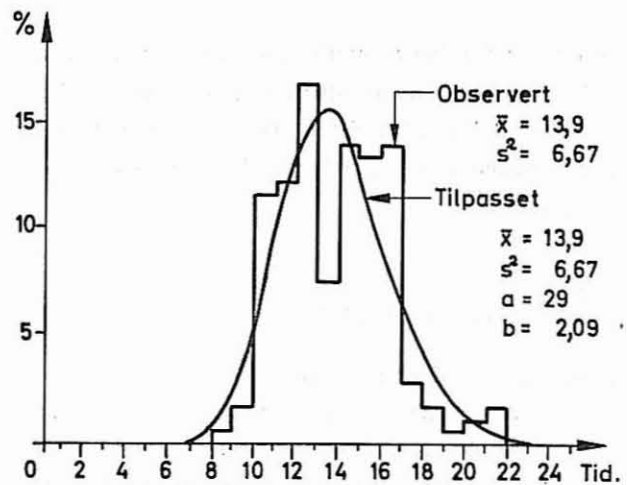


Fig.5. Observert og tilpasset fordeling for transporttiden.

Tabell 1 viser observerte og simulerte middeltider målt i halve minutter. Det er videre satt opp en oversikt over antall trucker til stede i bruddet.

Her betegner P_0 ingen truck i bruddet, P_1 en truck i bruddet osv. til P_4 som betegner alle 4 trucker i bruddet. Dette er vist i tabell 2, og kan oppfattes som simulerte og observerte sannsynligheter for 1, 2, 3 og 4 trucker til stede i bruddet. Sannsynligheten for at det er to trucker i bruddet er altså over 0,5.

Tabell 2. Sannsynlig truckfordeling i brudd.

P_n	Obsbert	Simulert
P_0	0,003	0,003
P_1	0,149	0,114
P_2	0,566	0,615
P_3	0,282	0,261
P_4	0	0,007
P_n	1,000	1,000

Vi får et inntrykk av at simuleringen gir et bra bilde av hva som foregår under driften. Den kan derfor brukes til å undersøke virkningen av andre maskinkombinasjoner. Da truckene her har store ventetider er det naturlig å prøve virkningen av å redusere trucktallet fra 4 til 3. Dette betyr bedre utnyttelse av truckene, men dårligere utnyttelse av gravemaskinen.

Det er derfor gjennomført en simulering med tre trucker. Tabell 3 gir resultatet av simuleringen.

Tabell 3. Simulerte middeltider ved innsetting av 3 trucker.

	Obsbert	Simulert
Lastetid	7,64	7,49
Ventetid for gravemaskin ..		0,81
Transporttid	13,92	13,72
Ventetid for truck		2,98

5. Sammenligning av driften med 3 og 4 trucker.

En reduisering av antall trucker betyr mindre kapasitet av steinbruddsdriften. Dette må vurderes mot innsparingen i transportkostnader. Driftskapasiteten uttrykkes som:

$$K = \frac{60}{\text{Lastetid} + \text{Ventetid}}$$

hvor tidene måles i minutter.

Resultatet av simuleringen er at $K_4 = 15,8$ lass/time, og $K_3 = 14,5$ lass/time. Ved reduisering fra 4 til 3 trucker går følgelig driftskapasiteten ned med 1,3 lass/time. Hvis kapasiteten er knapp vil man kanskje si at den 4. trucken gir en så stor tilvekst at den kan forsvares innsatt. En kan også kalkulere totale kostnader for lasting og transport og dimensjonere antall trucker ved en kostnadsminimering.

Den tradisjonelle dimensjoneringsformel gir her som

$$\text{resultat } N = \frac{13,9}{7,6} + 1 = 2,8 \text{ dvs. 3 trucker. Dette}$$

tilsvarer at gravemaskinen får vente på tom truck i ca. 10% av driftstiden.

6. Bruk av metoden.

Den beskrevne metoden gjør det mulig å bestemme virkningen av en variasjon i trucktallet. En kan simulere med forskjellige typer av gravemaskiner og trucker under forutsetning av at data for laste- og transporttider er tilgjengelige. En forutsetning for metoden er at driften er stabil dvs. at middelverdiene for de variable og spredningen av disse ikke er underlagt langtidsvariasjoner. Forandrer forholdene seg, må ny simulering foretas. Ved simuleringen kan en på et sikkert grunnlag bedømme virkningen av en variasjon i trucktallet, og eller innsetting av forskjellige typer av maskiner. Dette gir igjen grunnlag for en optimal dimensjonering på basis av en kostnadsminimering av en eller annen type.

Særtrykk nr. 1965

AAS & WAHLS BOKTRYKKERI, OSLO