

Pumping av betong

Pumping of concrete

Av sivilingeniør KJELL SEEBERG
Norges byggforskningsinstitutt

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT



Pumping av betong

Av sivilingeniør Kjell Seeberg, Norges byggforskningsinstitutt

Bortsett fra de kortfattede og generelle veiledninger som gis av de forskjellige pumpefabrikanter, er dette emnet lite behandlet i litteraturen.

I det etterfølgende fremlegges en del synspunkter på proporsjonering og pumping av betong. Stoffet er vesentlig basert på egne erfaringer fra meget omfattende pumpeforsøk med etterfølgende utstøping av en 10 km lang tunnel i Hong Kong. Det ble der pumpet ca. 150 000 m³ betong. Betongkvaliteten tilsvarte omtrent vår B 250. Maksimal kornstørrelse var 38 mm.

Problemet var å fremstille en betong som under de gitte forutsetninger skulle tilfredsstillte alle krav til fasthet, økonomi og driftssikkerhet. De tilgjengelige tilslagsmaterialer bestod av knust tunnelstein og natursand fra forskjellige sandtak. Materialene var uvaskede, skarpe og med store variasjoner i gradering og finstoffinnhold.

Disse forhold, sammen med vår mangel på erfaring og de meget begrensede opplysninger vi kunne finne i litteraturen, førte til store vanskeligheter i begynnelsen. Dette skyldes blant annet feiltolkning av prøveresultatene, utilstrekkelige kunnskaper om de forskjellige faktorerens betydning og ukyndig behandling av pumpene.

Bakgrunnen for denne artikkelen er derfor et ønske om å viderebefordre noen av de erfaringer som her ble gjort, i håp om at de kan være til nytte for norske entreprenører.

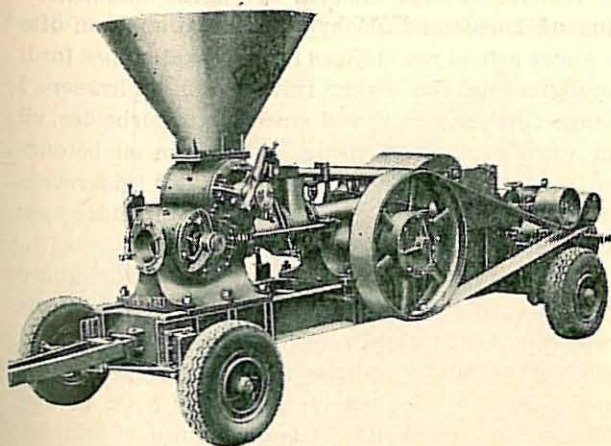


Fig. 1. Mekanisk betongpumpe (Pumpcret M 11 A)

Tilbakeblikk

Allerede i 1913 ble den første betongpumpen patentert i USA. Den var ensylindret og i prinsipp temmelig lik dagens mekaniske pumper. Interessen for oppfinnelsen var imidlertid liten, og pumpen kom aldri lengre enn til forsøksstadiet.

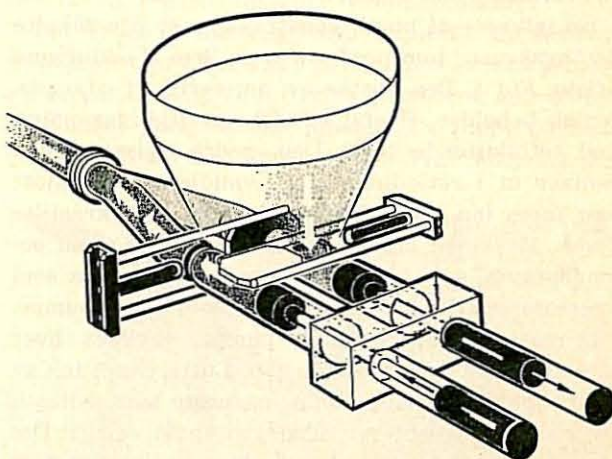


Fig. 2. Hydraulisk betongpumpe

Neste forsøk på å fremstille en brukbar betongpumpe ble gjort i Tyskland i 1927. Denne modellen ble stadig ombygget og forbedret. Det var særlig ventilmekanismen som voldt besvær, men i 1936 kom den siste og vesentlige konstruksjonsendringen. Maskinen ligger til grunn for de fleste av de mekaniske pumper som er produsert i England, Tyskland, Frankrike og USA. Fig. 1 viser en mekanisk pumpe. (Pumpcret).

Den første hydrauliske betongpumpen ble fremstilt i Tyskland under siste krig, og mot slutten av 50-årene slo denne typen igjennom for alvor. Fig. 2 viser en hydraulisk pumpe (Schwing).

De første pumpene var store og tunge. De hadde kort slaglengde og stor rørdiameter. Utviklingen har senere gått mot lettere og mer mobile pumper med stor slaglengde og mindre rørdimensjon.

I Europa, og da særlig i Tyskland, er de hydrauliske pumpene blitt meget populære, mens man i USA, England, Russland og Japan synes å foretrekke de mekaniske.

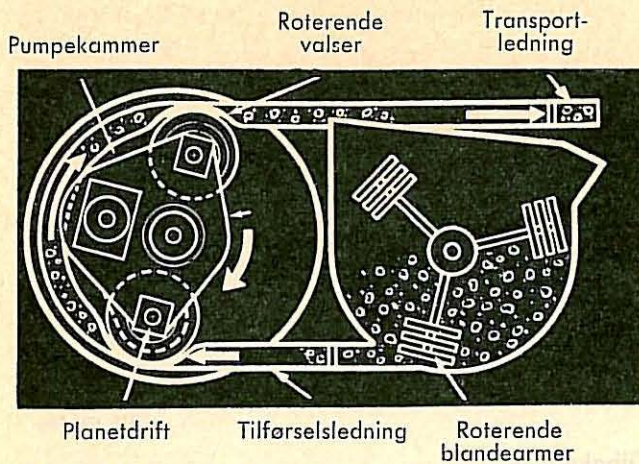
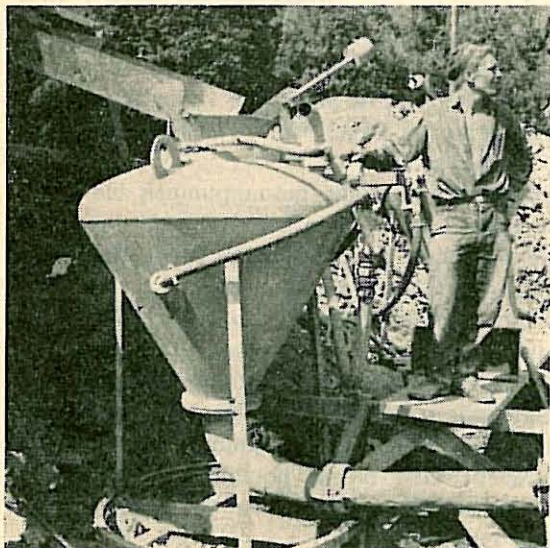


Fig. 3. Skjematisk fremstilling for «Squeeze-crete» pumpe

I tillegg til de mekaniske eller hydrauliske stempelpumper, finnes det også andre typer. En amerikansk pumpe arbeider ved at roterende ruller «skviser» betongen gjennom en fleksibel slange og ut i rørledningen, *Fig. 3*.

En interessant norsk konstruksjon er den såkalte Betongskruen, som produseres av Sem Maskinfirma i Oslo. *Fig. 4*. Den består av en vertikalt stående, konisk beholder. Øverst er det en ifyllingsåpning med tettsluttende lokk. Den nedre, spisse enden munner ut i rørledningen. Drivmidlet er trykkluft som føres inn i beholderen gjennom to skråstilte dyser. Maskinen kan benyttes som kanon, som betongsprøyte, som injeksjonsapparat og — hva som interesserer i denne forbindelse — som betongpumpe. Når maskinen brukes som pumpe, trykkes hver sats langsomt ut i rørledningen. Lufttrykket tas av før beholderen er helt tømt, og neste sats fylles i. Hver sats representerer således et «pumpeslag». Det blir i alminnelighet brukt en kompressor som leverer minst 4,5 m³ luft pr minutt. Betongskruen er svært enkel og driftssikker, og den har et stort anvendel-

Fig. 4. Den norske «Betongskruen»



sesområde. Prisen er også vesentlig lavere enn for pumper med tilsvarende kapasitet, og maskinen har derfor fått en ganske stor utbredelse i Norge.

Kapasiteter

De større pumpetyperne har en maksimal kapasitet av ca. 45 m³/time ved 200 m horisontal eller 30 m vertikal rørledning. Det finnes imidlertid mange eksempler på at man har pumpet opp til henholdsvis 600 m horisontalt og 70 m vertikalt. Kapasiteten er da naturlig nok vesentlig redusert, og det stilles her meget strenge krav til betongens pumpeegenskaper.

Betongskruen arbeider med full kapasitet over ca. 150 m horisontal rørledning. I vertikal retning begrenses den til 15 m på grunn av det relativt lave arbeidstrykket som benyttes ved pumpingen. Ved effektiv ifylling vil man kunne regne med en driftskapasitet av 15 m³/time.

I Hong Kong ble det brukt hydrauliske betongpumper av merket Schwing BPA 25 og BPA 50 med rørdiameter 7". Ukerekorden var 10 støpninger med en form, og beste månedsresultat tilsvarende 31 støpninger eller 455 m tunnel. Betongkvantumet pr. støping var i gjennomsnitt 230 m³.

Den gjennomsnittlige langtidskapasitet for pumpene lå på 25 m³/time med enkeltverdier på opp mot 35 m³/time. Dette er driftskapasiteter, som altså inkluderer alle ventetider og kortere avbruddstimer. Netto pumpekapasitet var naturligvis betydelig høyere.

Bruk av betongpumper

Til tross for at metoden har vært kjent over 50 år, har pumping av betong ikke fått den utbredelse i Norge som man kanskje hadde kunnet vente seg etter utviklingen utenlands. Det kan være mange årsaker til dette. Pumpene er relativt kostbare i forhold til mer konvensjonelt utstyr for betongtransport. Mangel på erfaring, eller kanskje dårlige erfaringer fra tidligere forsøk, kan også spille inn. I samme retning virker at metoden forutsetter en grundig planlegging av støpearbeidet, og at den stiller relativt strenge krav til betongens sammensetning og konsistens. På byggeplassene ser man ofte at annet arbeid må stoppes når det skal støpes fordi betongtransporten legger fullt beslag på kranen. I mange tilfeller, særlig ved større betongarbeider, vil det være økonomisk riktig å sette inn en betongpumpe. Kranen belastes da ikke med den tidskrevende betongtransporten og kan utnyttes til andre oppgaver. *Fig. 5*.

Det finnes også en rekke områder hvor andre transportmidler vanskelig kan konkurrere med rørtransport. Dette gjelder særlig ved utstøping av tunneler og underjordiske rom, ved støpearbeider inne i ferdigbygde hus og på steder hvor det vil falle dyrt og vanskelig å komme frem med stillaser og transportveier for konvensjonell transport.

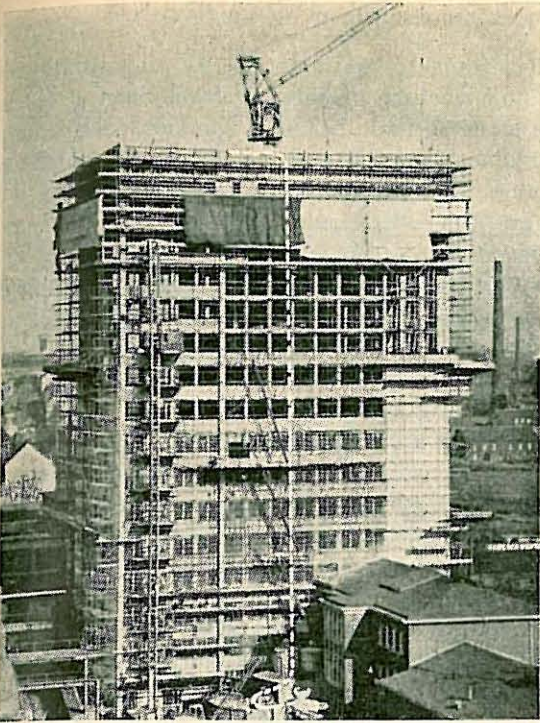


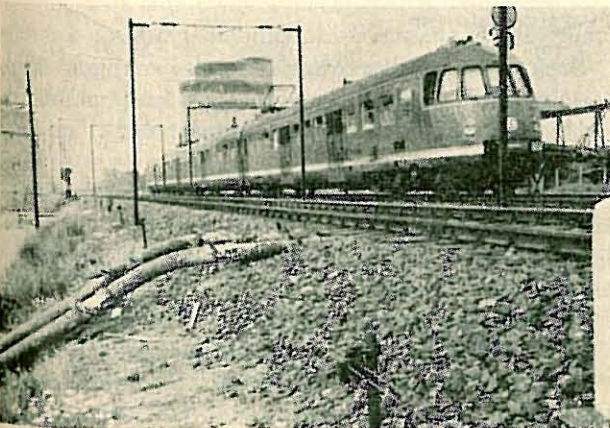
Fig. 5. Bruk av betongpumpe ved bygging av et 64 m høyt kontorbygg i Oberhausen

Betongpumpen kan plasseres der hvor det er mest hensiktsmessig, for eksempel i forbindelse med blandestasjonen eller ved bæredyktig vei dersom betongen leveres ferdig fra bil. Stempelhastigheten kan reguleres trinnløst, slik at man hele tiden kan avpasse betongmengden etter forholdene på støpestedet.

Rørledningen kan legges gjennom hus, under vei og jernbane, over vannløp og lignende og på en slik måte at den er til minimalt hinder for andre aktiviteter på byggeplassen. Fig. 6.

En ulempe er at betongen vanligvis leveres bare på ett sted, nemlig ved rørenden. Dette kan kompenseres ved å montere et svingledd som tillater det siste stykket å rotere 360°. En fleksibel slange på rørenden vil ytterligere øke bevegeligheten. Fig. 7. Det gis også muligheter for å montere tappeluker langs rørledningen.

Fig. 6. Betongtransport under en trafikkert jernbanelinje



For å sikre en jevn produksjon uten unødige avbrudd bør det legges ut flere rørledninger til forskjellige støpesteder; når støpearbeidet er avsluttet på ett sted, kobles rørene om, og arbeidet kan fortsette på neste sted.

De viktigste forutsetninger for et vellykket resultat er først og fremst en erfaren og dyktig pumpeoperatør. Dette gjelder særlig for de hydrauliske pumpene. Videre kreves en nøyaktig og omsorgsfull planlegging av arbeidet og av røropplegget, samt kjennskap til visse enkle, men viktige, regler for proporsjonering av pumpebetong.

Proporsjonering av pumpebetong

Rent generelt kan man si at de regler som gjelder for proporsjonering av all god betong, også har gyldighet for betong som skal pumpes. I tillegg kommer imidlertid en del spesielle betingelser som må oppfylles.

Konsistensen og arbeidbarheten («workability») er kritiske egenskaper. Betongen må ikke ha tendenser til separasjon eller vannutskillelse.

Det er en alminnelig, men feilaktig, oppfatning at pumpebetong bør være særlig bløt. Erfaringsmessig er det nettopp de for bløte blandinger som oftest forårsaker pumpevanskeligheter. En slump på mellom 4 og 8 cm kan normalt anbefales. Man må her



Fig. 7. Fleksibel slange ved rørenden

være klar over at bearbeidelsen av betongen i pumpe og rørledninger under pumpeprosessen vil medføre en reduksjon av slumpen ved rørenden med 1—3 cm. Til gjengjeld kan man påregne 5 % økning av trykkfastheten.

Den ferske betongens egenskaper er først og fremst avhengig av følgende faktorer:

- 1) Vanninnholdet i liter pr m³ betong
- 2) Tilslagsmaterialenes gradering og kornform
- 3) Forholdet mellom grove (>4,8 mm) og fine (<4,8 mm) materialer
- 4) Mengden av finstoff <0,2 mm
- 5) Cementens egenskaper
- 6) Eventuelle tilsetningsstoffer

Vanninnholdet:

Vanninnholdet er av vesentlig betydning for betongens konsistens og pumpe-egenskaper. Ved et korrekt vanninnhold vil friksjonen i rørledninger motvirkes av et tynt lag smørende mørtel mellom betongen og rørvæggen. Er vanninnholdet for lavt, vil pumpetrykket overføres til rørvæggen direkte via de faste partiklene. Dette vil gi en sterk økning av friksjonen.

For meget vann fører lett til separasjon av betongen, særlig i rørbendene. Steinreir vil oppstå ved at de grove tilslagsmaterialene kiler seg sammen mot rørvæggen, mens cementen og finstoffet presses igjennom. For å få fjernet en slik plugg, vil det som oftest være nødvendig å demontere rørledninger på dette stedet, med de uheldige følger dette har for driften.

For bløt betong vil også, i den utstrekning den overhodet lar seg pumpe, slite både maskineri og rørledning betydelig mer enn normalt.

Tilslagsmaterialenes gradering og kornform:

Det finnes i litteraturen en hel del «ideelle» mønsterkurver for betongproporsjonering, som skal gi en mest mulig økonomisk gradering av tilslagsmaterialene. Disse kurvene går som regel ut på å gi minimalt cementforbruk. Tilslagsmaterialene er følgende relativt grove og oftest lite egnet som utgangspunkt for proporsjonering av pumpebetong.

Knuste tilslagsmaterialer vil som regel medføre en rekke ulemper i forhold til naturlige materialer med avrundet kornform. De har oftest flate, avlange og skarpkantede partikler, noe som vil gi høyere rørfriksjon. Knuste materialer vil også kreve betydelig mer vann, en større andel av natursand og mer finstoff $< 0,2$ mm enn runde, glattere materialer.

Pumpebetongens tilslagsmaterialer bør settes sammen av flest mulig enkeltfraksjoner. Det er meget viktig at materialenes gradering ikke varierer for meget, dette gjelder særlig for sanden. Den maksimale stenstørrelsen angis som regel av fabrikanterne. En brukbar regel er at $D_{maks.} \leq \frac{1}{3}$ av rørdiameteren.

Forholdet mellom grove ($> 4,8$ mm) og fine ($< 4,8$ mm) materialer:

Generelt gjelder det at forholdet bør være høyere jo finere graderingen av sanden er. For et gitt vann/cement-tall vil det være et bestemt forhold mellom de grove og de fine tilslagsmaterialene som gir størst arbeidbarhet.

I litteraturen kan man finne anbefalte sikterestverdier for graderingskurvens skjæring med 4,8 mm-linjen på mellom 40 % og 70 %. Egne erfaringer gir 55—60 % som et rimelig utgangspunkt for proporsjoneringen.

Andelen av finstoff $< 0,2$ mm:

Den kanskje viktigste del av tilslagsmaterialet for pumpebetong utgjøres av fraksjonen $< 0,2$ mm. Det er dette finstoffet som sammen med cementen og vannet danner den nødvendige smørefilmen i rørledningen. En engelsk kilde anbefaler at sanden bør ha en sikterest av minst 80—85 % på 0,3 mm og minst 95 % på 0,15 mm.

Tyske erfaringer [1] og [2] angir for betong med maksimal stenstørrelse 38 mm en andel av finmateriale mindre enn 0,2 mm på minst 350 kg/m³. Dette inkluderer cementen, som bør utgjøre minst 250 kg/m³ og helst 300 kg/m³.

Innholdet av finmaterialet vil ha liten innflytelse på konsistensen, men være av stor betydning for betongens tendens til separasjon og vannutskillelse. For mye finmateriale vil imidlertid gi en klubbete betong, øke faren for partikkelinterferens og redusere betongens pumpe-egenskaper.

Norsk sand er vanligvis skarp og fattig på finstoff. Brukes vaskede materialer, vil som oftest de finere fraksjoner mangle. For ikke å få for høyt cementforbruk, vil det derfor kunne lønne seg å sette til filler. Det kan også komme på tale å bruke et luftporedannende tilsetningsstoff. 1 % mikroporer vil da kunne erstatte 15—20 kg finstoff pr. m³ betong.

Cement

For pumpebetong bør det anvendes en ikke altfor finmalt cement. Den motvirker riktignok vannutskillelse, men vil gi høyere rørfriksjon enn en mer grovmalt cement ved samme vann/cement-tall.

Tyske forsøk [1] har vist at rørfriksjonen for forskjellige betongblandinger med samme konsistens og arbeidbarhet synker med økende cementinnhold opptil 300 kg/m³ for derefter å øke med økende cementinnhold.

For betongens pumpe-egenskaper vil innholdet av fillermaterialer være likeverdige med cementen. Meget gode resultater er oppnådd i Tyskland ved pumping av mager betong der opptil halvparten av cementen var erstattet med puzzolaner.

Tilsetningsstoffer

Bruk av tilsetningsstoffer anbefales vanligvis ikke for pumpebetong. I mange tilfeller kan imidlertid særlig plastifiserende (vannreducerende) midler være fordelaktige.

Luftporedannende midler bør normalt ikke brukes. Luftinnholdet fører nemlig til at betongen blir elastisk og fjærende. Dette vil øke pumpemotstanden vesentlig, og ved lange rør eller stor høydeforskjell helt umuliggjøre pumping. De kan likevel være fordelaktige under visse forhold, for eksempel ved særlig magre blandinger og i blandinger som mangler finstoff $< 0,2$ mm.

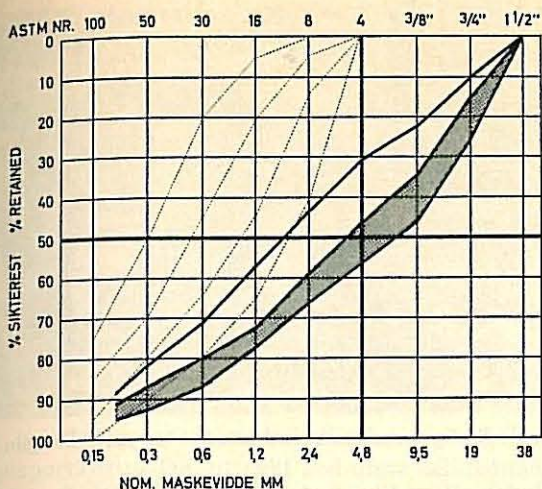


Fig. 8. Anbefalte korngraderinger for pumpebetong. Begge soner gir egnede sammensetninger, men den skraverte sonen gir best kvalitet. [3]

Plastifiserende midler virker først og fremst ved sin evne til å dispergere cementen i betongblandingen. Hydratasjonen lettes, cementpartiklene får stor bevegelighet og «overskudds-vannet» vil frigjøres for smøring av betongen. Også vannutskillelsen motvirkes, hvilket er en stor fordel.

Et tilsetningsmiddels innflytelse på betongen vil være avhengig av mange faktorer, blant annet cementtype, betongblanderens virkemåte, doseringsmengde og temperatur. Generelt vil bruken av et tilsetningsmiddel føre til en jevnere og bedre konsistens og kvalitet. Det er imidlertid helt nødvendig å foreta grundige prøver på arbeidsplassen før man bestemmer seg for det midlet og den doseringsmengde som under de gitte betingelser gir det beste resultatet. Data oppgitt av fabrikant eller leverandør vil som regel ikke kunne brukes uten videre.

Sammenfatning:

Målet må være å fremstille en betong som sikkert lar seg pumpe under de varierende forhold som vil forekomme på byggeplassen. Det vil her lønne seg å ofre både tid og omtanke på en omhyggelig utprøving og en relativt romslig proporsjonering fremfor å få kostbare og demoraliserende rørblokkasjer senere.

Når man står overfor problemet å skulle proporsjonere en pumpebetong, kan fremgangsmåten være som følger:

Utgangspunktet er spesifikasjonens krav til betongen, tilgjengelige tilslagsmaterialer og det maskinelle utstyr.

For tilslagsmaterialene finnes det i litteraturen en hel del graderingskurver som har gitt gode resultater. Fig. 8 viser noen slike kurver. I Fig 9 er vist variasjonen i korngraderinger for den betongblandingen som var mest tilfredsstillende i Hong Hong.

Man bør forsøksvis starte med en sikterest på 4,8 mm sikten på 55—60 %. Særlig vekt må legges på innholdet av finmaterial < 0,2 mm. Dette bør

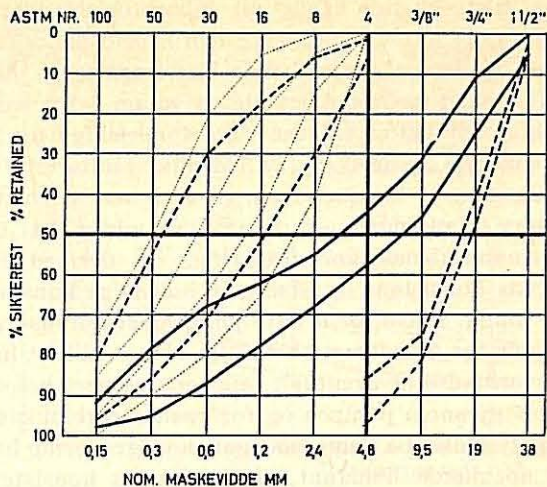


Fig. 9. Variasjonsområdet for tilslagsmaterialene i Hong Kong.

utgjøre minst 350—400 kg/m³, hvorav 300 kg/m³ sement.

Tilslagsmaterialer med avrundet kornform er å foretrekke, og det er under alle omstendigheter nødvendig at en stor del av de finere materialene utgjøres av natursand. Natursandens graderingskurve og egenskaper er av stor betydning. Graderingskurven bør ifølge tyske kilder ligge nær opptil B-linjen i DIN 1045. En del anbefalte graderingskurver for sand er vist i fig. 10.

Betongen skal være plastisk. Ved riktig konsistens vil den fylle hele rørtverrsnittet ved utløpsenden. Den trykkes da ut som en propp og brekker av i store biter. Fig. 11. Dersom kravet til vann/cement-tallet gjør det vanskelig å oppnå den nødvendige smidighet, kan tilsetning av et plastifiserende middel gi gode resultater.

Når det gjelder prøveblandinger, er det viktig at disse utføres i full skala. Laboratorieforsøk vil ikke

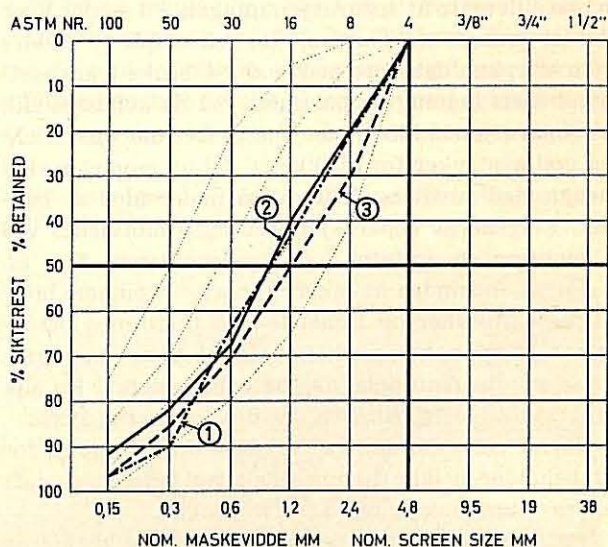


Fig. 10. Noen anbefalte kornkurver for sand til pumpebetong: Nr. 1: «Rohrförderung von Beton»
» 2: Schwing G m b H
» 3: The Concrete Pump Co Ltd

være tilstrekkelige. Dels vil laboratorieblanderen oftest være av en annen type enn arbeidsplassblanderen og derfor gi avvikende blandingseffekt, dels vil forholdet mellom overflate og volum («the wall-effect») for betongsatsene være forskjellige for de to blandere og derfor gi villedende resultater.

Når man er kommet frem til den mest hensiktsmessige blandingen, er det meget viktig at tilslagsmaterialenes korngradering, og dermed betongens konsistens og utseende, holdes så konstant som mulig. Dette for å lette pumpeoperatørens muligheter for å bedømme betongen visuelt slik at han kan forhindre at eventuelt feilproporsjonert betong kjøres gjennom pumpen og forårsaker rørblokkasje og driftsstans. Så lenge tilslaget korngradering holdes noenlunde konstant, vil betongens konsistens vesentlig avhenge av vanntilsetningen. Som en regel kan brukes at en endring i vanninnholdet på 1 % vil gi en endring i slump på 1 cm. Meget taler for å utstyre betongblanderne med wattmeter som direkte måler betongens arbeidbarhet. Blanderkjørerer vil da kunne regulere vanntilsetningen etter effektforbruket for en viss ønsket konsistens i stedet for å være bundet av et fastsatt vann/cementtall. På denne måten vil følgene av de uunngåelige variasjonene i tilslagets gradering, finstoffinnhold og fuktighet kunne motvirkes. Det er også en kjensgjerning at en betong med gode pumpeegenskaper så godt som alltid vil være kvalitetsmessig tilfredsstillende.

Litt om selve pumpeprosessen

Før pumpingen startes, bør en smørende mørtel av for eksempel 2 deler cement til 1 del sand kjøres ut i ledningen. Det er også en fordel om de første satsene er av en noe løsere konsistens og med høyere innhold av sand og cement.

Ifyllingen av betongen i pumpebeholderen må skje på en slik måte at separasjon unngås. På steder hvor det er trangt om plassen, for eksempel i mindre tunneler, kan det være nødvendig å bruke transportbånd. Dets helning og hastighet må da avpasses slik at separasjonen blir minst mulig. Det bør også være en god avstryker for at ikke en del av mortelen skal henge med rundt og falle av på undersiden av båndet. Følgene av separasjon kan også motvirkes ved å montere en agitator i pumpebeholderen. *Fig. 12.*

For å forhindre at større stener, trepinner, biter av cementsekker og lignende kan følge med betongen og forårsake vanskeligheter, bør det monteres en grov sikt på toppen av pumpebeholderen. En slik sikt sveises lett sammen av 6—8 mm rundjern.

Under selve pumpingen er det viktig å sørge for at beholderen ikke tømmes helt for betong, da luft ellers kan komme inn i rørleningen.

Det nødvendige pumpetrykk vil være avhengig av pumpehastighet, transportlengde eller -høyde, rørdiameter, retningsforandringer og betongens pumpeegenskaper.

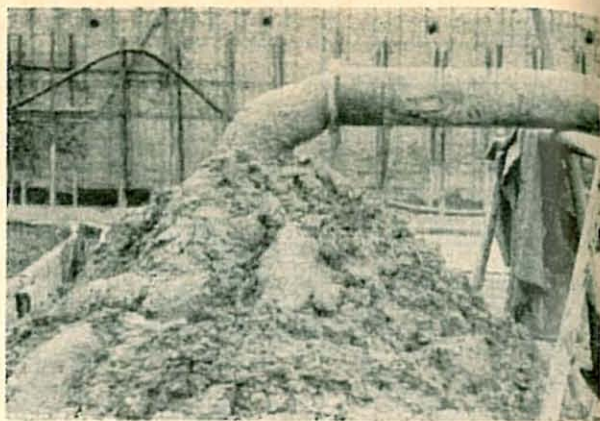


Fig. 11. Riktig konsistens ved utløpet av rørleningen

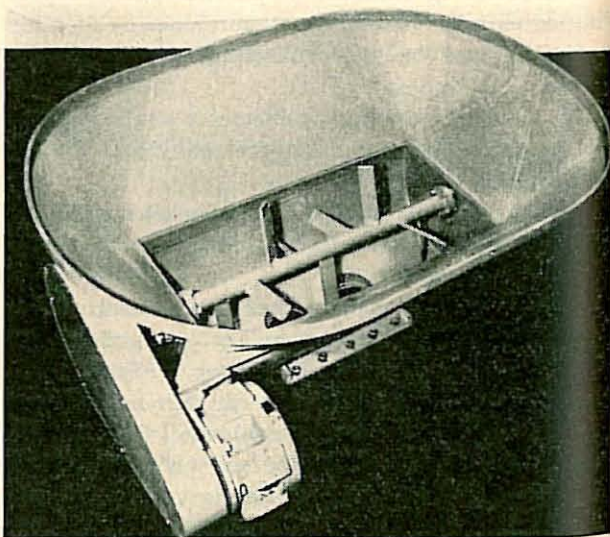
Under ellers like forhold vil en rørdiameter på 150 mm kreve ca. 20 % høyere pumpetrykk enn en rørdiameter på 180 mm.

Ved lengre opphold i pumpingen bør betongen bevegges noen stempelslag nå og da for å forhindre at den setter seg fast i røret.

Rørleningen må vies stor oppmerksomhet. Den må først og fremst være tett. Under pumpingen vil den ikke utsettes for større svingninger, og behøver følgelig ikke forankres på samme måte som ved pneumatisk transport (kanon). Retningsforandringer bør bare gjøres etter et forutgående rett stykke på 6—8 m eller mer. Dette gjelder særlig for det første stykket etter pumpen. Høydeforandringer bør overvinnes med vertikal rørføring. Ved lange ledninger brukes bend med stor krumningsradius for å redusere friksjonstapet. Overslagsmessig kan regnes med at en retningsforandring på 10° ved 2 m radius motsvarer en horisontal, rett rørlengde på 1 m. Et 90° bend vil da gi samme pumpemotstand som 9 m horisontal rørlengde. Motstanden vil imidlertid øke sterkt når krumningsradien reduseres.

Ved avbrudd eller når arbeidet er fullført, må rørene rengjøres. Står betongen under trykk, må røret først stenges med en ventil. Pumpen kobles

Fig. 12. Pumpebeholder med omrører (agitator)



fra, og en hard rull av sekkestrie, våte sementsekker eller lignende skyves inn i røret. På rørenden kobles så en lukket rørbit som inneholder en kompakt gummiball. Stoppventilen åpnes, og det hele trykkes gjennom røret ved hjelp av trykkluft. Det er en fordel om man kan fylle vann mellom rullen og gummiballen. Ved større høyder enn 40–50 m må det brukes trykkvann i stedet for trykkluft.

Kostnader

I [1] er det foretatt en sammenligning av kostnadene for de forskjellige metoder for rørtransport under tyske forhold. Bare de faktorer som direkte har betydning for sammenligningen er tatt med. Transportkostnaden, uttrykt ved disse delkostnader, kan da skrives:

$$K = F + (a + b \cdot I) + c \cdot T + (d + e \cdot I) \cdot S$$

Her er:

F = faste kostnader spesielle for hver enkelt arbeidsplass

I = midlere timelønn for de arbeidere som er beskjeftiget med betongtransporten

T = driftstiden i måneder for utstyret

S = driftstiden i timer for utstyret

a = faste kostnader for rigging

b = arbeidstimer for rigging

c = renter, avskrivnings- og reparasjonskostnader pr. måned

d = faste driftskostnader pr. time (drivstoff, smøremidler, slitasje)

e = nødvendig antall arbeidstimer pr. maskindriftstime.

For sammenligning mellom de ulike metodene endres uttrykket til:

$$\frac{K-F}{m} = \frac{a+b \cdot I}{m} + \frac{1}{n} \left(\frac{c}{t} + d + e \cdot I \right) \frac{\text{DM}}{\text{m}^3}$$

Her er:

m = betongmengden som skal transporteres

n = transportutstyrets timekapasitet

t = antall driftstimer pr. måned.

Ved hjelp av dette uttrykket er det satt opp en rekke diagrammer som viser transportkostnadene som funksjon av transportert mengde. Diagrammene er basert på data fra 12 større arbeidsplasser i Tyskland. Fig. 13. er basert på en midlere timelønn av 7 DM, 200 m transportlengde og 200 timers driftstid pr. måned.

Det er regnet med en kapasitet av 15–20 m³/time for den mekaniske pumpen og 20 m³/time for den hydrauliske. Kanonen tar 500 l pr. sats.

Det fremgår av diagrammene at den mekaniske pumpen vil være minst lønnsom ved alle transportlengder. Dette beror først og fremst på den høye slitasjekostnaden (her satt til DM 1,20 pr. m³), Små betongmengder og et lite antall driftstimer pr. måned vil være særlig ugunstig.

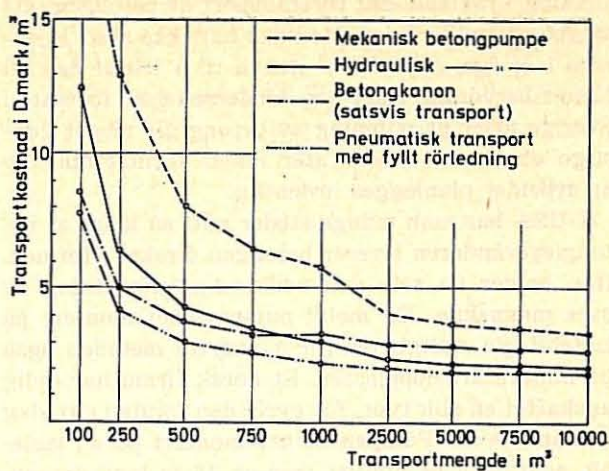


Fig. 13. Transportkostnader ved 200 m lengde og 200 timer pr mnd.

Ved kortere transportlengder vil pneumatisk transport med fylt ledning og en hydraulisk stemtongskruen) være mest økonomisk. Ved større betongmengder og tidsmessig god utnyttelse av utstyret vil kostnadsforskjellen mellom pneumatisk transport med fylt ledning og en hydraulisk stemtongskruen være liten.

Ved en transportlengde på 200 m vil den økonomiske grense mellom en hydraulisk pumpe og pneumatisk transport ligge mellom 400 og 500 m³ betong, avhengig av antall driftstimer pr. måned.

Variasjoner i timelønnen vil ha liten innvirkning på kostnadssammenligningen.

Konklusjon

De stigende lønnsutgifter, mangelen på kvalifisert arbeidskraft og den tekniske utvikling har i de senere år ført til en stadig økende mekaniseringsgrad på byggeplassene. Nye forskalingsmetoder og -systemer, prefabrikasjon, tekniske hjelpemidler og bedre planlegging har ført til rasjonalisering av driften og øket produktivitet. Til tross for at betongarbeidene vanligvis utgjør en meget stor del av de forekommende arbeider, foregår betongtransporten oftest nokså urasjonelt. I utlandet, og spesielt i

Fig. 14. Betongstøping ved hjelp av mobil betongpumpe og utligger (Thomsen Equipment)



USA og Tyskland, har rørtransport av betongen fått meget stor utbredelse. Metoden har ikke slått igjennom i Norge, men det er grunn til å tro at den vil få økt betydning også her. Undersøkelser foretatt i Sverige viser at pumping av betong gir meget gunstige økonomiske resultater under forutsetning av at arbeidet planlegges ordentlig.

I USA har man mange steder gått så langt at betongleverandøren leverer betongen direkte i formen. Han holder da selv den nødvendige utrustning og øvet mannskap. En mobil pumpe-enhet montert på lastebil gir muligheter for å utnytte metoden også på mindre arbeidsplasser. Et norsk firma har nylig anskaffet en slik type, for øvrig den første i sitt slag i Skandinavia. Pumpen er her montert på en lastebil, som også er utstyrt med en 16 m lang manøvrerbar bom. Dette gjør det mulig å plassere betongen direkte der den skal være, fig. 14.

Pumping av betong har i utlandet vist seg å kunne konkurrere med alle andre metoder for be-

tongtransport ved de fleste forekommende typer av støpearbeider. Det er derfor å håpe at vi også i Norge vil ta metoden opp til ny vurdering og ha øynene oppe for de muligheter som her finnes.

Litteraturhenvisning:

- [1] *Weber Robert*: «Rohrförderung von Beton» Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf 1963, 89 s.
- [2] *Weber Robert*: «Rohrförderung von Beton» Beton-Informationen Nr. 6 1965, s. 86—96.
- [3] «Erfahrungen mit Pumpbeton» Strassen- und Tiefbau Nr. 5 1962, s. 502—506.
- [4] «The resistance of concrete pumped through pipelines» Magazine of Concrete Research 9 (1957) H. 27, s. 129—140.
- [5] *Bäuziger D. J.*: «Betonieren des Brückenbaus der Thurbücke Sonnenthal mittels Betonpumpe». Schweizerische Bauzeitung, Heft 22, 2/6-1966.
- [6] *Product Profiles; Pumpcrete PC3, Mechanical Concrete Pump*. Engineering, 11/9-1964.
- [7] *Börnke Fritz*: «Erfahrungen mit Pumpbeton beim Bau des RWE-Kraftwerkes Frimmersdorf». Betoninformation Nr. 6 1965, s. 96—101.
- [8] *Sindern E. G.*: «Pumpbeton bei den Neubauten der Physikalischen Institute der Universität Köln». Betoninformation Nr. 6 1965, s. 102—103.
- [9] Det svenske «Statens Råd För Byggnadsforskning» vil i løpet av sommeren 1967 utgi en rapport ved *T. Sidenbladh* og *A. Teikmans*: «Betongpumpar och Betongkanoner».

