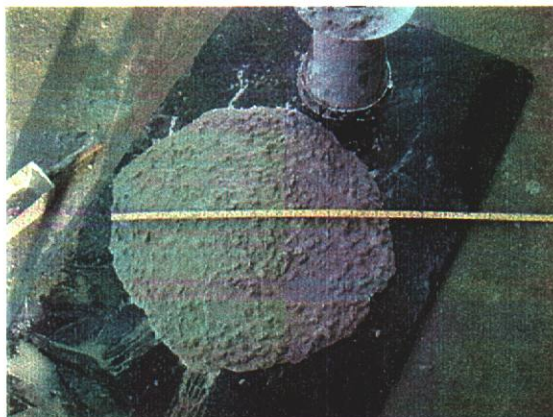


## Intern rapport nr. 2148

Feltforsøk vibreringsfri betong  
Søndre Bjørnstad bru



April 2000



# Intern rapport nr. 2148

## Feltforsøk vibreringsfri betong Søndre Bjørnstad bru

### Sammendrag

Feltforsøket ble utført 17. februar 2000 og omfattet kulvertvegger og tre vingemurer, ca. 127 m<sup>3</sup> betong, veggtykkelse 50 cm.

Utstøpingen ble utført med pumpe, hvor munningen av slangen ble holdt dykket i allerede utstøpt betong. Betongen hadde en synkutbredelse i underkant av 60 cm. Kombinasjonen av støpemetode og betongkonsistens må karakteriseres som vellykket, i det betongens utflyting i formen var meget god og støperesultatet var nærmest perfekt, omtrent uten porer i overflatene.

Feltforsøket viste imidlertid at en har et problem med utfyllingen mellom forskalingen og armeringsstoler av betong. Armeringsstolene ble konsekvent synlige på betongoverflatene.

Feltforsøket viste også at til tross for forskalingstrykk langt under det hydrostatiske, som en ville ha forventet, må en være mer nøye med styrke og stivhet av forskalingsdetaljer som endesteng og overforskaling. Ved deformasjoner i forskalingen kan det oppstå lekkasjer som er meget vanskelig å tette.

Emneord: *Vibreringsfri betong, selvkomprimerende betong*

Kontor: *3530 Betongkontoret*

Saksbehandler: *Reidar Kompen*

*/ Koe*

Dato: *April 2000*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

**Vegteknisk avdeling**

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo

Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

# Innhold

	Side
1. INNLEDNING	1
2. SØNDRE BJØRNSTAD BRU	2
3. PLANLEGGING AV STØPEUTFØRELSEN	5
4. PRØVEBLANDING AV BETONG	7
5. UTFØRELSE AV STØPEN	10
6. STØPERESULTATET	15
7. ERFARINGER	20

## 1. INNLEDNING

I februar 1999 gjennomførte Statens vegvesen sitt første feltforsøk med vibreringsfri betong. Forsøksobjektet var Kvennabakkundergangen i Volda, en fotgjengerundergang med lengde (inkludert vinger) på 18,5 m, høyde 2,5 m og veggtykkelse 25 cm. I dette forsøket, som er rapportert i Intern rapport nr. 2088, "lyktes en i å gjøre så mye feil at en lærte noe av det", men resultatene var også så interessante at en ønsket å fortsette forsøkene. Vibreringsfri betong syntes å ha et vesentlig anvendelsespotensiale, og ikke minst syntes HMS-gevinstene å være så betydelige at en ønsket å opparbeide ferdighet i proporsjonering og bruk av denne betongtypen.

Produksjonsavdelingen hos Statens vegvesen Østfold meldte interesse for å være med på forsøk med vibreringsfri betong høsten 1999. Fullskala feltforsøk kunne være aktuelt å utføre på Søndre Bjørnstad bru, hvor arbeidene skulle starte opp i januar 2000.

## 2. SØNDRE BJØRNSTAD BRU

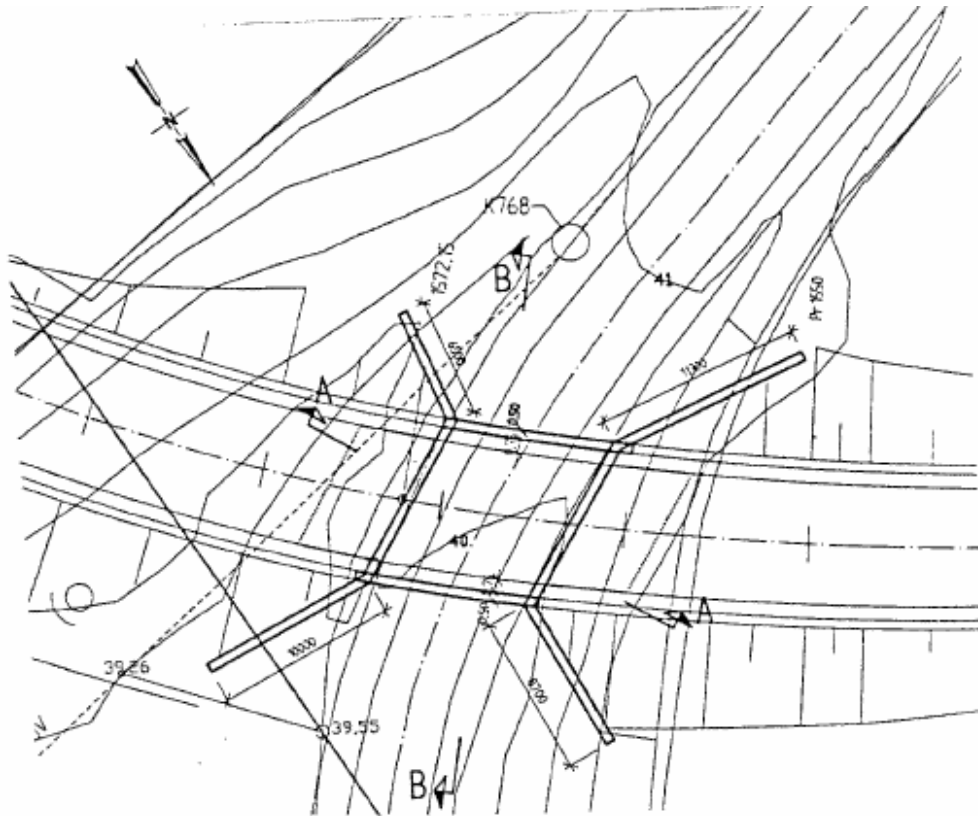
Søndre Bjørnstad bru inngår i anlegget E6 Lekevold - Børstad. Konstruksjonen er en plasstøpt betongkulvert med lysåpning 8,0 m og minimum fri høyde 4,75 m, lengde 10,1 m. Det vises til Fig. 1 (neste side).

Kulvertveggene har høyde ca. 5,5 - 6,0 m og tykkelsen av vegger og vinger er 50 cm. Veggene er armert med  $\text{Ø}^{\text{K}} 20$  c 150 vertikalt ik og yk,  $\text{Ø}^{\text{K}} 16$  c 150 horisontalt ik og henholdsvis  $\text{Ø}^{\text{K}} 32$  c 175,  $\text{Ø}^{\text{K}} 25$  c 125 eller  $\text{Ø}^{\text{K}} 20$  c 150 horisontalt yk. Armeringsoverdekningen var  $40 \pm 5$  mm til  $\text{Ø}^{\text{K}} 12$  monteringsstenger,  $55 \pm 15$  mm til konstruktiv armering.

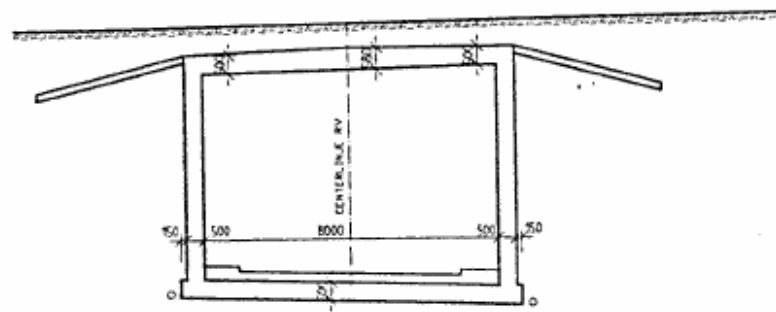
Kulverten var manuelt forskalet med horisontal bordforskaling på den synlige siden, finérlemmer på jordsiden. Se Fig. 2.



Fig. 2 Foto av Søndre Bjørnstad bru under byggingen



SNITT A-A (M=1:100)



SNITT B-B (M=1:100)

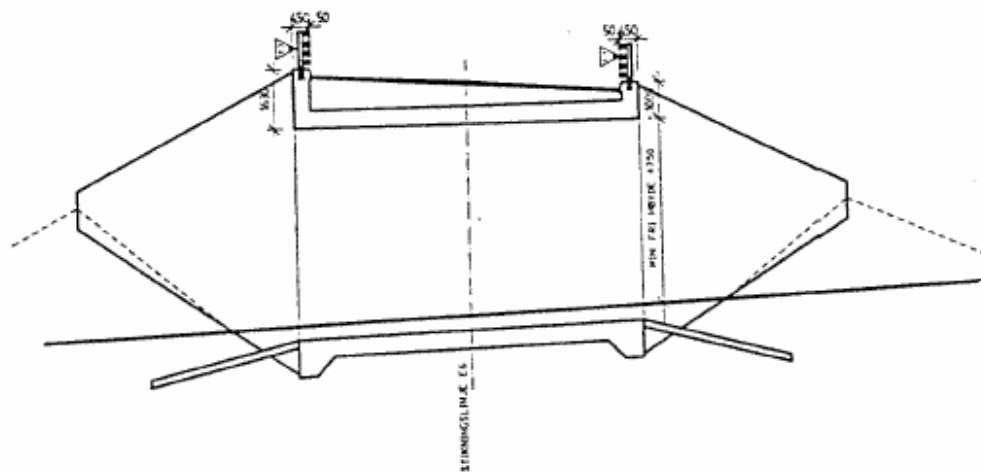


Fig. 1 Søndre Bjørnstad bru

Vegen som skal gå gjennom kulverten var midlertidig omlagt på nordsiden, slik at nordre vinge ikke kan bygges før vegen er lagt tilbake. Støpen omfattet dermed to kulvertvegger og 3 vingemurer, se Fig. 3.

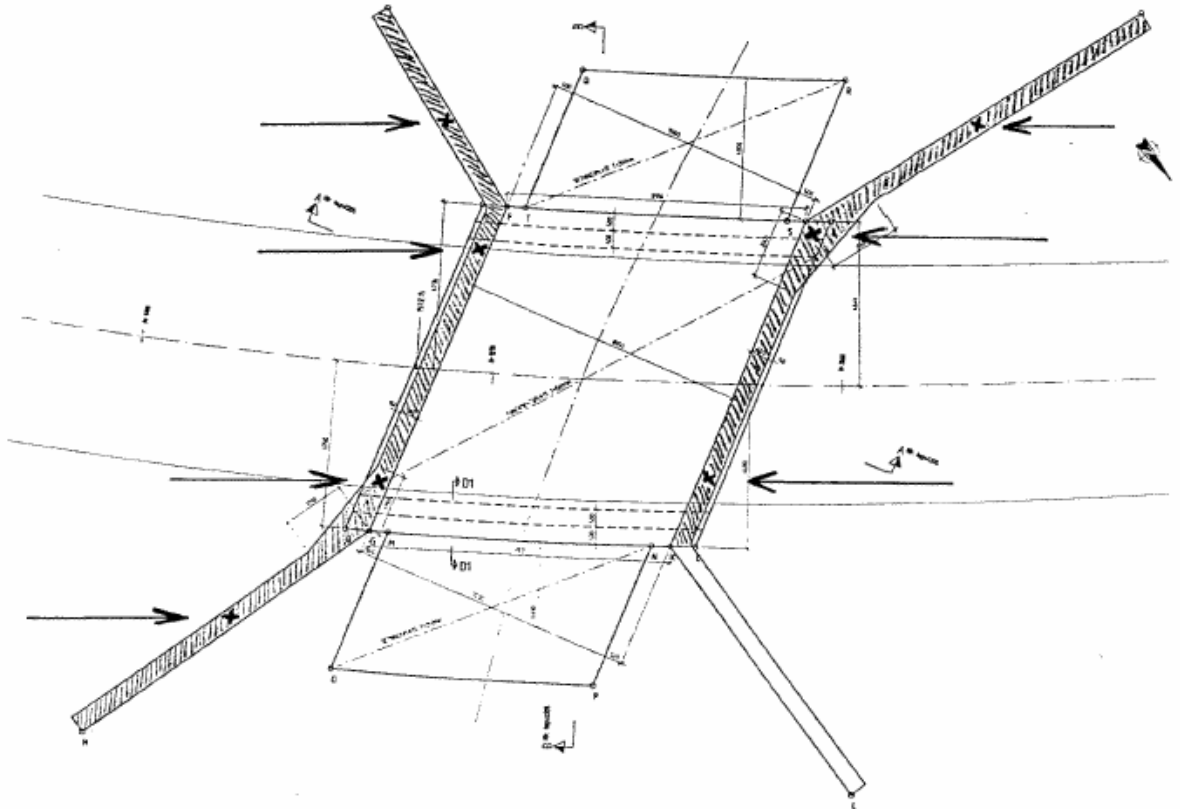


Fig. 3 Omfang av støpeavsnittet (skravert).  
Planlagte plasseringer av pumpe-slange vist med piler

### **3. PLANLEGGING AV STØPEUTFØRELSEN**

På grunn av den vibreringsfrie betongens spesielle utflytingsegenskaper måtte en planlegge støpeutførelsen spesielt. Ut fra erfaringene med utstøpingen av Kvennabakkundergangen ville en denne gangen benytte "dykket rørstøp" som prinsipp, dvs. munningen av pumpe slang/-rør skulle alltid holdes neddykket i allerede utstøpt betong. Neddykkingsdybden trengte ikke være stor, normalt fra 20 til 50 cm.

Som utgangspunkt, inntil en så hvordan utflytingen av betongen i veggen ble, forutsatte en å pumpe betongen inn i 4 posisjoner på søndre vegg og 3 posisjoner i nordre vegg. Se Fig. 3.

Vingemurene er skrå i overkant (såvel som i underkant) og måtte forsynes med overforskaling. Etter vurdering av alternativer ble det valgt å forberede dette ved produksjon av 1 m lange og 0,5 m brede lemmer av 4" bord med ca. 2 mm spalte mellom hvert bord. Lemmene skulle monteres etterhvert som en støpte opp, og utstøpingen skulle foregå som vist i tegneserien Fig. 4.

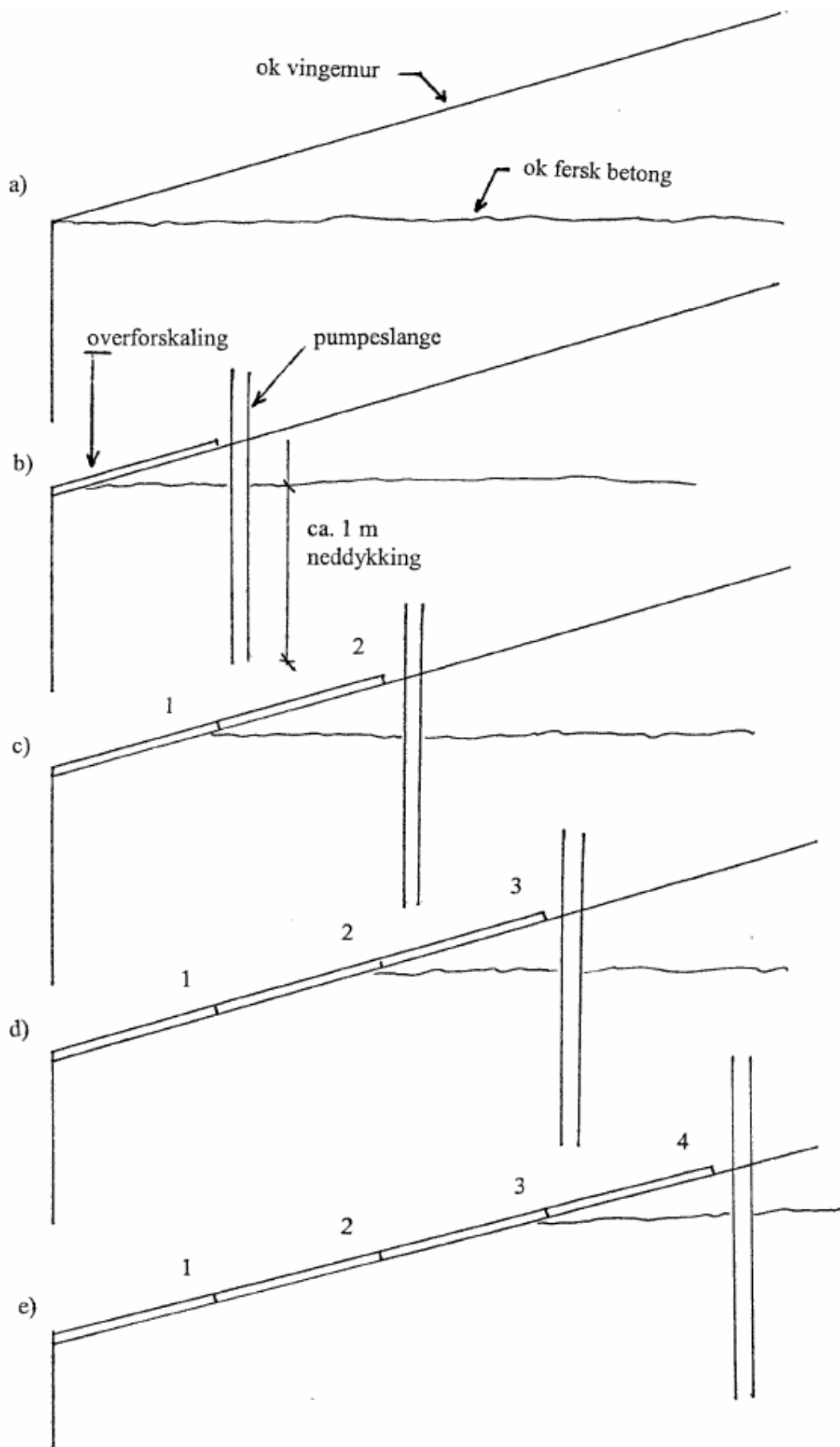


Fig. 4 Utstøping mot overforskaling, ok vingemur



Det var spørsmål om en skulle støpe vingemurene helt opp til ok kantbjelke på brua eller ikke, om en skulle støpe bruplate sammen med veggene, og om en skulle støpe kantbjelken med det samme. Med hensyn til opprissingsrisiko var det en fordel å støpe alt i ett, men det var også ganske klart at det ville kunne bli store problemer med utilsiktet utflyting av betongen. Utstøping av "alt i ett" ville bli en meget lang arbeidsdag selv uten utflytingsproblemer, og det ble derfor valgt å avslutte vegg- og vingestøpen i nivå med uk bruplate, se Fig. 5.

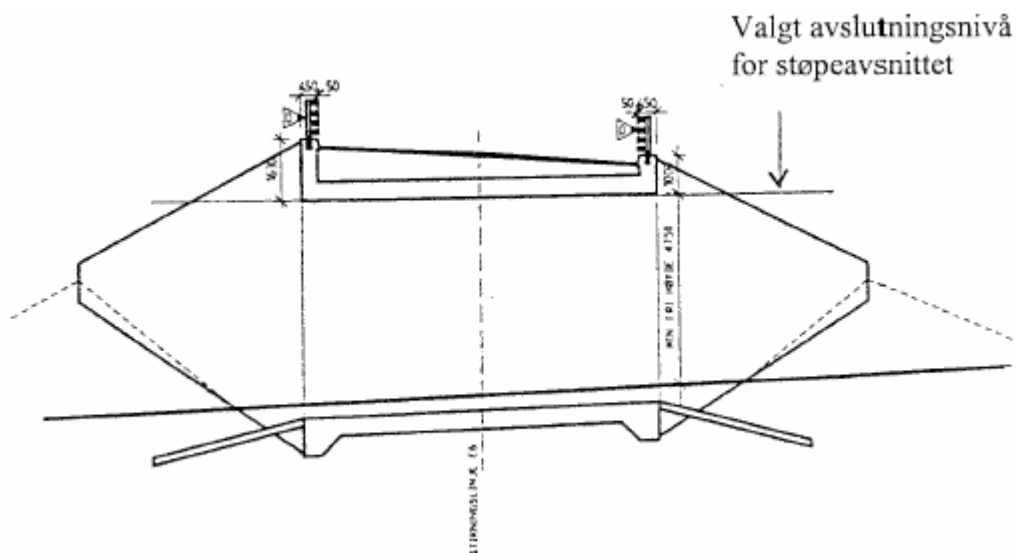


Fig. 5 Avslutningsnivå for støpeavsnittet

#### 4. PRØVEBLANDING AV BETONG

Betongleverandør var NorBetong A/S, Råde. Spesifisert betongkvalitet var C45 SV-40 i henhold til Prosesskode-2, prosess 84.4.

Prøveblanding og reseptutvikling ble foretatt på betongblanderiet den 17. januar 2000.

Det ble satt opp to forslag til resept i forkant av prøveblandingen. Den ene med stor stein 16-22 mm og den andre uten denne steinstørrelsen. Reseptene ble satt opp utifra resultater i andre referanseprosjekter.

Delmaterialer	SKB, med 16-22 Pukk, kg/m <sup>3</sup>	SKB, uten 16-22 Pukk, kg/m <sup>3</sup>
Sement (Standard)	400	400
Silika	12	12
Sand 0-8	998	984
Pukk 8-16	553	739
Pukk 16-22	172	-
SSP 2000	3,5 – 4,0	3,5 – 4,0
VMA	1,5 – 2,0	1,5 – 2,0
L(T)	0,7	0,7
Totalt vann	169	169
Finstoff < 0,125 mm	483	482

Vi valgte å jobbe videre med resept SKB uten 16-22 Pukk. Før vi startet utprøvingen økte vi doseringen av silika til 17 kg/m<sup>3</sup>. Dette for å øke finstoffmengden i blandingen noe, dessuten har dette vist seg å gi en meget positiv effekt på denne typen betong. I blanding 4 økte vi i tillegg sementmengden.

Det ble utført 4 prøveblandinger. For hver blanding ble synkmål, synkutbredelse og luftinnhold målt. I tillegg ble flyteevne og stabilitet vurdert ved øyemål.

Målinger:

Blanding	SSP 2000, kg	VMA, kg	Synk, cm	Utbredelse, cm	Luft %
1	4,0	1,5	24	40	4,6
2	4,5	1,5	26	55,5	2,8
3	4,5	1,0	28	63	3,2
4	4,5	1,5	27 (26*)	53,4 (60,5*)	4,2 (4,8*)

(\*) Målinger utført 15 min. etter første måling

Blanding 1:

Det var lite "liv" i betongen, noe som også resultatene tilsa. Både målinger av synk og utbredelse ga for dårlig resultat. Betongens evne til å flyte manglet, men den virket pastarik og stabil. Vi tok ut et trillebor 15 min. etter første måling, men valgte å ikke utføre målinger da vi kunne se at resultatet ikke hadde bedret seg. På grunnlag av dette valgte vi å beholde de opprinnelige mengdene i resepten, men gikk opp 0,5 kg med SSP 2000.

Blanding 2:

Denne betongen var noe bløtere, men hadde i tillegg den evnen at den "krøp" sakte utover. 15 min. etter første måling tok vi ut en ny trillebor, men valgte å ikke måle da resultatet ikke hadde bedret seg. Siden vi manglet noe flyt bestemte vi oss for å gå ned 0,5 kg med VMA til 1,0 kg/m<sup>3</sup> på neste blanding.

### Blanding 3:

Utbredelsen økte betraktelig og betongen virket stabil og homogen. Betongen holdt forholdsvis godt sammen, men vi kunne stedvis se 1 cm separasjon i front. Etter målingene ble betongen tømt ut av trillebora og viste da tydelige tegn på vannseparasjon. På den neste blandingen valgte vi å gjøre en rekke justeringer:

- 10 kg mer sement
- 4 kg mer vann
- 0,5 kg mer VMA
- Pukk 8-16, ned 50 kg
- Sand 0-8, opp 50 kg

### Blanding 4:

Denne betongen var stabil og vi kunne ikke observere noen vannseparasjon. Selv om denne blandingen ikke ga spesielt høy utbredelse, var dette en betong Statens Vegvesen ønsket å bruke og heller flytte pumpe-slengen flere ganger enn å få vannseparasjon og porer i betongen. Vi tok målinger av betongen igjen etter 15 min. og da hadde utbredelsen økt betraktelig. Fremdeles var det ingen tegn til separasjon.

## Oppsummering

Statens Vegvesen ønsket å bruke resepten fra blanding 4. Denne betongen var den beste av de fire blandingene som ble utført, og så også ut til å være den mest stabile. Det skal legges til at resultatene vi fikk kan være noe unøyaktige da vi brukte en gummimatte til å utføre synk-utbredelse målinger. Underlaget var dessuten noe skjevt.

På grunn av tendensen til økning i synkmål og synkutbredelse under transporten ved bruk av SSP 2000, valgte en å redusere SSP-doseringen med  $0,3 \text{ kg/m}^3$  for betongen som skulle leveres til byggeplassen.

Resepten en var kommet fram til var:

Delmaterialer	Vekt, $\text{kg/m}^3$
Sement (Standard)	410
Silika	17
Sand 0-8	1034
Pukk 8-16	679
Pukk 16-22	-
SSP 2000	4,2
VMA	1,5
L(T)	0,9
Totalt vann	177

## 5. UTFØRELSE AV STØPEN

Kulvertveggene og 3 av vingene ble utstøpt den 17. februar 2000. Under støpingen var det opphold, klarvær og vindstille, temperaturen - 4 °C. Totalt levert betongvolum var 127,9 m<sup>3</sup>. Transportlengden av betongen var ca. 15 km. Støpeutførelsen var i alle hovedtrekk slik det var planlagt, kfr. kap. 3.

Fordi byggekranen var i ustand og pumpa ikke greide å løfte og flytte bommen når det var montert et stålrør i enden av pumpeledningen, ble pumpeledningen avsluttet med en slange. Dette medførte at betongen måtte falle fritt de nederste 60 - 70 cm mot bunnplata, og det vil være litt større usikkerhet m.h.t. neddykkingsdybde ved utstøping av vingene, se Fig. 4.

Betongen ble pumpet inn med slangeplassering slik som planlagt, kfr. Fig. 3. Utflytingen av betongen var så god at det ikke var nødvendig med flere ifyllingspunkter. Første lass ble blandet kl. 0655 og hadde for dårlig utflyting ved ankomst støpestedet. Betongkonsistensen ble justert i to omganger, og fylling i formen startet først kl. 0815.



*Fig. 6 Tilrigging for utstøping*

Støpingen ble utført i følgende rekkefølge:

1. Søndre vegg til en høyde av ca. 2,5 m
2. Nordre vegg til en høyde av ca. 2,5 m
3. Søndre vegg opp til der overforskaling starter på vingen
4. Nordre vegg opp til der overforskaling starter på vingen
5. Søndre vegg oppunder overforskaling på vingen
6. Nordre vegg oppunder overforskaling på vingen

Betongen hadde meget god utflytingsevne og så også ut til å fylle godt rundt armering etc. (Dette fremgår tydelig av film). Betongen virket rimelig robust mot separasjon, men det kunne sees en mørtelseparasjon i formen etter at betongen hadde flytt ut ca. 4 m. Ved lengst utflyting, opp til ca. 18 m, inneholdt betongen fortsatt stein, men overflaten besto av et ca. 25 mm tykt mørtellag.



*Fig. 7 Utstøping av vibreringsfri betong*

Fersk betong egenskaper ble kontrollert både av Vegvesenet og av personell fra Norcems prosjekt P626-DP1. Vegvesenets kontroll omfattet luftinnhold, masseforhold, densitet og trykkfasthet, kfr. Tabell 1. FoU-prosjektet foretok målinger av flyteegenskapene; synkmål, synkutbredelse, synkutbredelse-ring og T50, dvs. tiden til betongen hadde flytt ut til en sirkel med diameter på 50 cm. For å få reproduerbare målinger av T50 har en i FoU-prosjektet vedtatt å "nappe" synkkjeglen opp for å ha et entydig tidspunkt  $T = 0$ . Til dette formålet hadde Bjørn-Per Kyltveit, Skedsmo Betong Fabrikk, fått laget en spesiell anordning vist på Fig. 8. Måleresultatene er vist i Tabell 2.

Metode / Levert klokken	07.25	08.00	08.40	09.50
Synk-Utbredelse-Ring (mm)	500	530	600	500
Synk-Utbredelse-Ring T50(sek.)	5	5	4	5
Synk-Utbredelse-Ring H1/H2(mm)	10/12	10/13	11/13	9,5/12,5
Luftinnhold (%)	3,6	4,6		
Betongtemperatur +C	18			
Synk-Utbredelse (mm)	510	550	600	
Synk-Utbredelse T50(sek.)	4	4	3	
Synk(mm)	26		26	

Tabell 2 Flyteegenskapene for fersk betong



Fig. 8 Utstyr for måling av synkutbredelse-ring (SUR) og utflytingshastighet T50

Forskalingstrykket ble målt med to lastceller montert under "klokka" på hvert sitt forskalingsstag, henholdsvis i nest-nederste og 3.-nederste stagerække, se Fig. 9 og 10. Lastcellene viste lavere forskalingstrykk enn forventet. Ved oppfylling av veggen til 2,5 m høyde økte kraften i staget til 2,5 tonn. Ved videre oppfylling av veggen økte ikke stagkraften videre.



*Fig. 9 Lastcelle montert under "klokka" på AZ-staget for måling av forskalingstrykk*



*Fig. 10 Manometret for lastcellen*

Overforskalingen på vingemurene ble spikret direkte til den horisontale forskalingsshuden, kfr. Fig. 11. Da betong var pumpet noe opp under overforskalingen, deformerte denne seg så mye at det ble lekkasje og ca. 1 m<sup>3</sup> betong rant ut på sør-østre vinge. En demonterte da overforskalingen og ventet ca. 1 time før en fortsatte støpingen. Betongen hadde da tydelig "snerket seg" på toppen, og en fryktet at dette ville resultere i et tydelig skille i betongoverflaten.

Endestengene på vingemurene viste seg også å være svake, da de bare var holdt på plass av forskalingsstag. Mellom stagene buet endestengene ut.



*Fig. 11 Overforskaling på vingemur*

Siste betonglass ble blandet kl. 1416, og støpingen ble avsluttet ca. kl. 1515. Total støpetid var altså 7 timer (0815 - 1515), og støpehastigheten 18,3 m<sup>3</sup>/time. For å registrere når betongen størknet ble det montert to temperaturfølere i formen, ca. 1 m over sålen. Registreringene er vist i Fig. 12.

Betongleverandørens kontrollresultater viste at den selvkomprimerende betongen hadde høyere fasthet enn vanlig SV-40 betong, kfr. Tabell 3. Betongleverandørens prøvningsresultater for densitet og trykkfasthet var høyere enn Vegvesenets resultater for prøver tatt ut på byggeplassen, sml. Tabell 1.



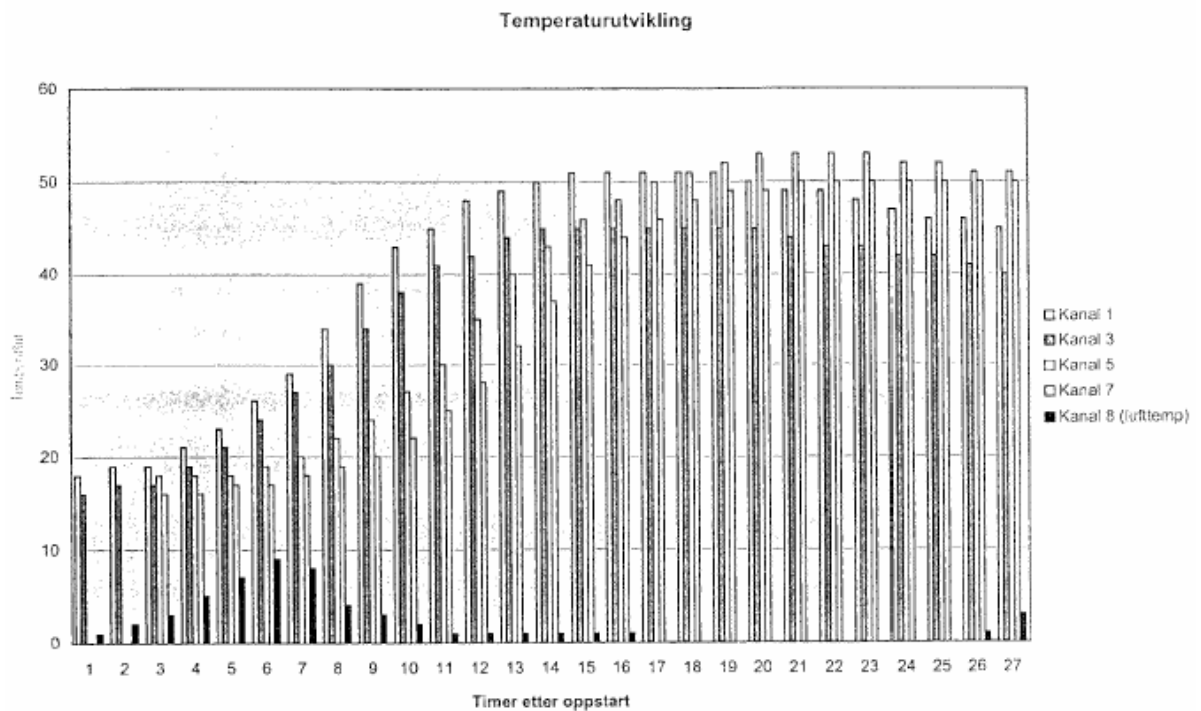


Fig. 12 Registrering av temperaturutvikling i veggen

Prøvedato	Kjøreseddelnr.	Densitet	28-d. fasthet	Luftinnhold	
17.03.00	44142	2458	75,0	3,8	Selvkomprimerende
		2438	76,0		
17.03.00	44127	2432	67,0	3,8	Selvkomprimerende
		2411	71,0		
17.03.00	44134	2459	79,5	3,6	Selvkomprimerende
		2446	76,5		
22.03.00	44181	2458	64,5		Ordinær SV40. (dekkestøp)
		2469	63,0		

Tabell 3 Betongleverandørens prøvningsresultater

## 6. STØPERESULTATET

Støperesultatet ble observert etter avforskaling den 2. mars 2000, og kan sies å være nærmest perfekt. Tilslutningen til sålen var god. Når en visste hvor støpefronten hadde stått stille en stund (f.eks. ved skifte fra den ene veggen til den andre), kunne en enkelte steder se små antydninger av florender, men disse var så lite tydelige at en neppe ville kunne ha sett de hvis en ikke visste hvor en skulle lete. Ikke engang på sør-østre vinge, hvor betongnivået hadde stått stille ca. 1 time, kunne en se noe markert avtrykk av dette.

Betongoverflatene ga et 100% speilbilde av forskalingshuden, og var omtrent helt porefrie. Dette gjaldt både framsiden, som var forskalet med 4" bord, og baksiden som var forskalet

med finérlemmer. Store deler av overflaten hadde noe kalkutslag (lys farge), noe som verken har med betongtype eller utstøping å gjøre. Til og med overkanten av vingemurene, som var utstøpt oppunder overforskaling, var feilfrie og nærmest uten luftporer som ellers alltid skjemmer slike flater.

Betongoverflatene viste konsekvent én "feil" som har med betongtypen/utstøpingen å gjøre. Det var benyttet L-formede Frank armeringsstoler fra firma Halfen-Frimeda A/S, og sementlim/mørtel hadde ikke trengt inn mellom disse og forskalingen. Armeringsstolene var derfor konsekvent synlige. Denne "feilen" ble også observert, om enn i noe mindre grad, på Kvennabakkundergangen, hvor det ble brukt Sjøholt stoler. "Feilen" har ikke noe med fabrikat av armeringsstol å gjøre. Også på baksiden hvor det var benyttet trekantformede armeringsstoler av betong som henges på armeringen, kunne posisjonen av enkelte armeringsstoler sees. Det var litt mangelfull utfylling inntil spissen av trekanten som vendte mot forskalingen.

Øverst i nord-vestre hjørne hadde kulvertveggen en skade, men denne har egentlig ikke noe med betongen og utstøpingen å gjøre. Mellom kulvertveggen og vingemuren er det her en lang voute på baksiden, og forskalingsstagene står noe skrått i forhold til forskalingshuden. Betong har trengt inn mellom plastkonen på forskalingsstaget og forskalingshuden, eventuelt også inn i stagrøret, slik at 3 stag satt fast da forskalingen ble revet. Stagene er blitt banket ut fra baksiden, slik at det er oppstått 3 store "roser" på framsiden. Dette problemet er ikke nytt, men vi har igjen fått en påminnelse om at faststøpte stag i alle fall ikke skal bankes løs fra den ikke synlige siden av konstruksjonen.

Kulvertveggene hadde fine hårriss c/c ca. 1 m vertikalt ned mot bunnplata. Rissvidde var i størrelsesorden ca. 0,05 mm og skyldes tilbakeholdt temperaturkontraksjon for veggene. Slik opprissing er forventet uansett betongtype, vibreringsfri eller vibrert betong.

Etter riving av forskalingen var materialene lettere å skrape rene enn de pleier å være ved bruk av vibrert betong.



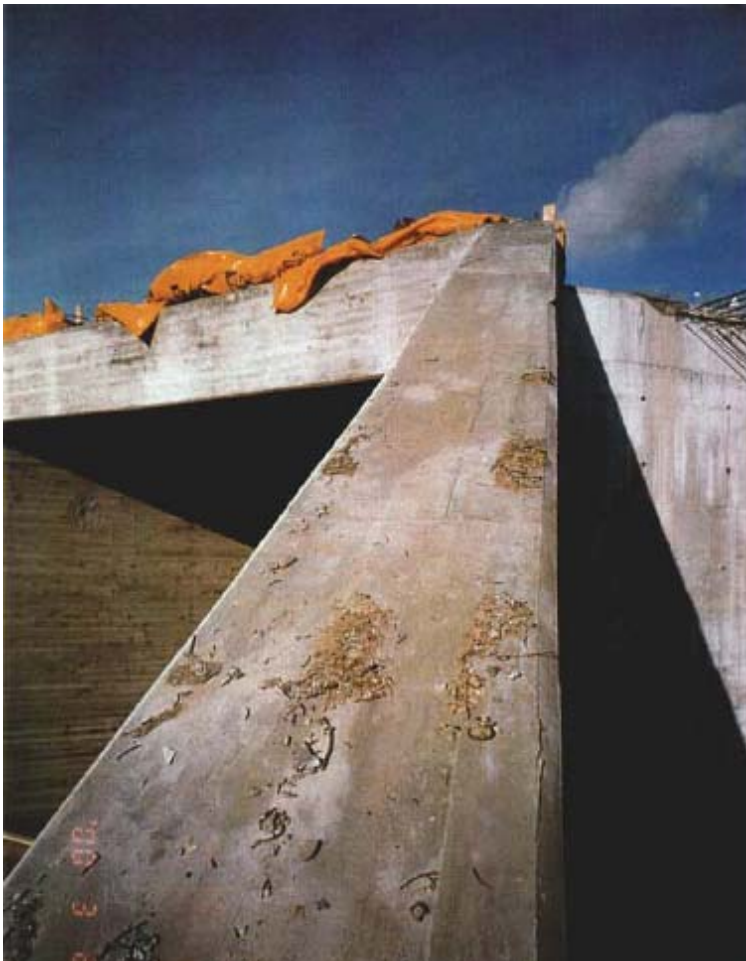
*Fig. 13 Søndre Bjørnstad bru ferdig støpt, sett fra vest*



*Fig. 14 Søndre vingemur. Framside forskalt med 4" bord*



*Fig. 15 Bakside mot finerlemmer. Også her så godt som fritt for porer*



*Fig 16 Overkant av vingemur.  
Også denne uten porer (!)*



*Fig. 17 Nærbilde av overflaten. Perfekt speilbilde av forskalingshuden. Bare synd at armeringsstolene av betong synes så godt*



*Fig. 18 Det nærmeste en kom til en synlig florand (like over stagrekken)*

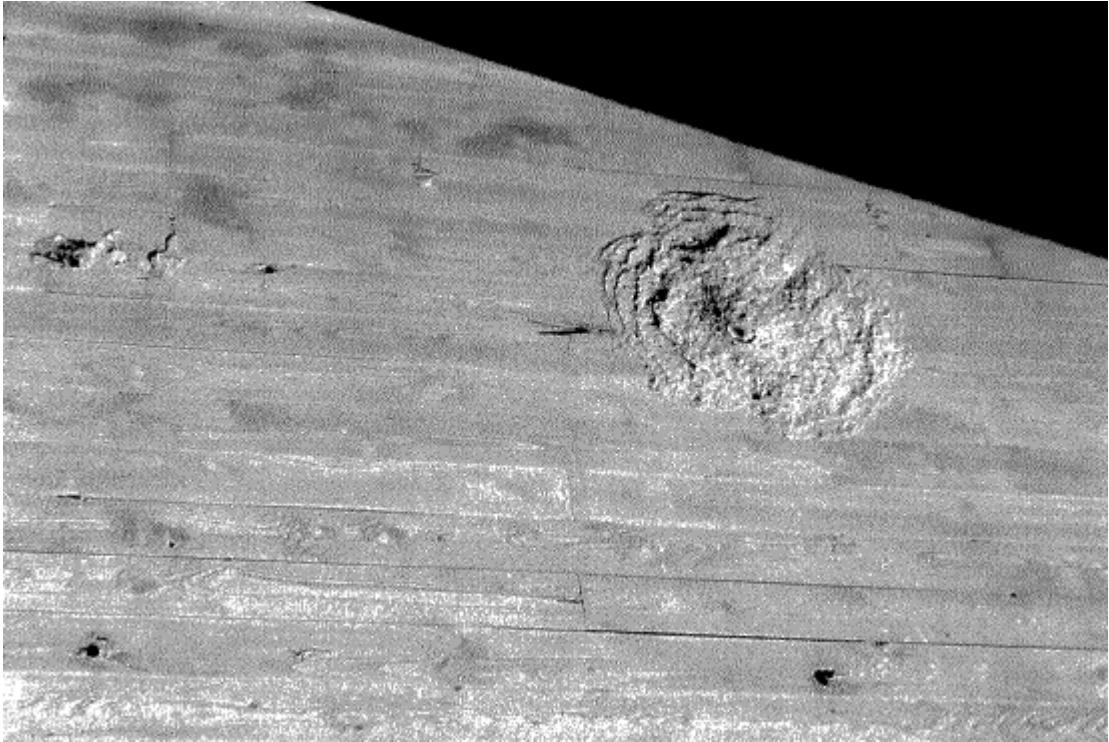


Fig. 19 Rivingsskade. Faststøpte stag er banket ut fra baksiden.

## 7. ERFARINGER

Støperesultatene fra Søndre Bjørnstad bru viser at en har kommet et godt stykke lenger i praktisk bruk av vibreringsfri betong.

Støpemetoden med neddykket pumpe slanges synes å være riktig med denne typen betong. Som en håpet på ble problemet med florender så godt som eliminert.

Det synes også å være riktig å tilstrebe en mer stabil/robust betong med mindre separasjonstendens. Selv om dette resulterer i en synkutbredelse i underkant av 600 mm, trenger ikke dette være negativt ved utstøping av konstruksjoner av den typen vi her har arbeidet med. Ved praktisk utstøping får en også hjelp til utflytning av betongtrykket og av dukking av pumpe slangen. Altså: *Heller litt redusert synkutbredelse enn påtakelig separasjonstendens.*

Manglende utflytning av mørtel mellom armeringsstoler av betong og forskalingsshuden er et forhold som må vurderes nærmere. Om en ikke kan/vil akseptere det, må en finne en armeringsstol-utforming som lettere slipper mørtelen fram. Spørsmålet er om en modifisert utforming vil være forenlig med krav til liten brekkasje og liten inntrykking i forskalingsshuden.

Målinger av staggrefter viser at vi får betydelig lavere forskalingstrykk enn vi ville forvente ut fra antakelsen om hydrostatisk trykk. En bør foreløpig være forsiktig med dette som en konklusjon, men i alle fall synes det å være tilfredsstillende om en fortsetter å bygge forskalingene etter de gamle erfaringene med vibrert betong.

Svakhetene ved endestengene og innfestingen av overforskalingen på vingemurene viser at en generelt må være mer påpasselig med styrke og stivhet av forskalingsdetaljer enn hva en har vært tidligere med vibrert betong. Deformasjoner i forskalingen resulterer lettere i lekkasjer, og lekkasjene er vanskeligere å stanse enn ved bruk av vibrert betong. Selmer ASA hadde tilsvarende erfaring ved støp av tunnelportal i Vestfold.

Personell involvert i feltforsøket:

Anleggsleder:	Lars Frode Christiansen, Statens vegvesen Østfold
Formann:	Egil Larsen, Statens vegvesen Østfold
Støpemannskap:	
Betongleverandør:	Tommy Cielicki, Norbetong A/S, Østfold Frode Kolberg, Norbetong A/S, Råde
Betongpumping:	
Fersk betong kontroll:	Tormod Ileby, Statens vegvesen Østfold Bjørn-Per Kylvit, Skedsmo Betong Fabrikk A/S
Forskalingstrykk:	Harald Johnsen, Selmer ASA
Prøveblanding TSS:	Elisabeth Hansen, Scancem Chemicals A/S
Filmopptak:	Sven Olav Næss, Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling
Grå eminense:	Reidar Kompen, Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling