

OPTIMAL VIBRERINGSINSATS VID BETONGGJUTNINGAR

Delrapporter

- o Fältförsök vid gjutning av bropelare i Igelstatron
- o Bildanalys för bestämning av betongytors blåsighet
- o Undersökning av ett stavvibratornedsticks inverkan på betongens saltfrostbeständighet
- o Optimal vibrering av betong K45 med endast liten lufttillsats

**OPTIMAL VIBRERINGSINSATS VID BETONGGJUTNINGAR,
ETAPP 2**

**FÄLTFÖRSÖK VID GJUTNING AV BROPELARE
I IIGELSTABRON**

**BILDANALYS FÖR BESTÄMNING AV BETONGYTORS
BLÅSIGHET**

DELRAPPORT

**Ett utvecklingsprojekt med ekonomiskt bidrag från
Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF)**

INNEHÅLL	Sid
INLEDNING	1
UNDERSÖKNINGENS UTFÖRANDE	3
Betongsammansättning	6
Provgjutningens utförande	7
PROVNINGSRESULTAT	
Densitet och tryckhållfasthet	7
Saltfrostbeständighet	8
Vattentäthet	11
Kloridpermeabilitet	11
Betongytornas blåsighet	12
VIBRATIONSTIDMÄTARE	13
BILDANALYS FÖR BESTÄMNING AV BETONGYTORS BLÅSIGHET	13

SAMMANFATTNING

De studier avseende "Optimal vibreringsinsats vid betonggjutningar", som redovisats i en SBUF-rapport daterad april 1990, var baserade på fältundersökningar vid Vasamuseet och Norra Länken. För att få ett bredare underlag har undersökningarna fortsatt i en etapp 2 av projektet, som omfattat undersökningar gjorda vid bygget av Igelstabron i Södertälje.

I denna delrapport redovisas resultaten av ett fältförsök utfört vid gjutning av en sektion av en av bropelarna. Betong K45 T med anläggningscement och 5-6% lufthalt användes. Vibreringsinsatserna 260, 500 och 900 s/m³ jämfördes. Inom det undersökta registret erhöles inga signifikanta skillnader beträffande den hårdnande betongens tryckhållfasthet eller täthet. Betongytorna var genomgående praktiskt taget blåsfria.

Saltfrostbeständigheten provad mot vertikala ytterytor visade genomgående mycket god frostbeständighet. Prov gjorda på sågade ytor från de inre delarna av konstruktionen visade delvis mycket god, men delvis även dålig saltfrostbeständighet. Detta ledde till teorin att stavnedsticken lokalt kan åstadkomma en lokal bortvibrering av de tillförda små luftporerna, vilket i sin tur leder till nedsatt saltfrostbeständighet. Denna teori har bekräftats av en specialundersökning redovisad i en separat rapport liksom av uppgifter i litteraturen.

En metod för bildanalys baserad på videoupptagningar för bestämning av betongytors blåsighet har undersökts av Statens Institut för Byggnadsforskning i Gävle och Statens Provningsanstalt i Borås. Metoden har bedömts som möjlig att använda för praktiskt bruk. Detta skulle dock fordra ett visst fortsatt utvecklingsarbete.

INLEDNING

Som ett led i undersökningarna avseende optimal vibreringsinsats vid betonggjutningar utfördes ett fältförsök vid gjutning av en bropelare till Igelstabron i Södertälje, som byggs av konsortiet Igelstabron i vilket ingår NCC, Veidekke och Eeg-Henriksen. Fältförsöket utgör ett parallellprov till de undersökningar som tidigare utförts vid gjutningar av fundament vid Vasamuseet och en stödmur vid Norra Länken ingående i etapp 1 av SBUF-projektet "Optimal vibreringsinsats vid betonggjutningar". Fältförsöket vid Igelstabron ingår i etapp 2 av samma projekt, liksom även en studie av möjligheterna att använda bildanalys för bestämning av betongytors blåsighet.

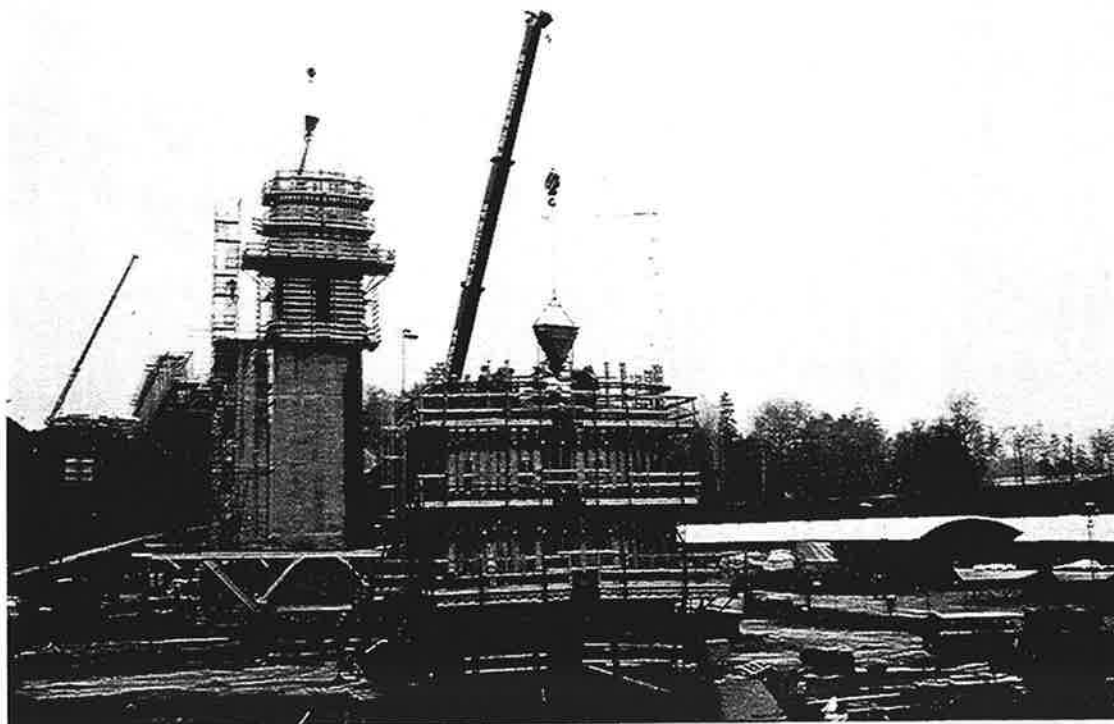
UNDERSÖKNINGENS UTFÖRANDE

Fältförsöket utfördes vid gjutning av sektion 29D:2B ingående i pelare 29D, figur 1. Gjutningen utfördes 2 maj 1991.

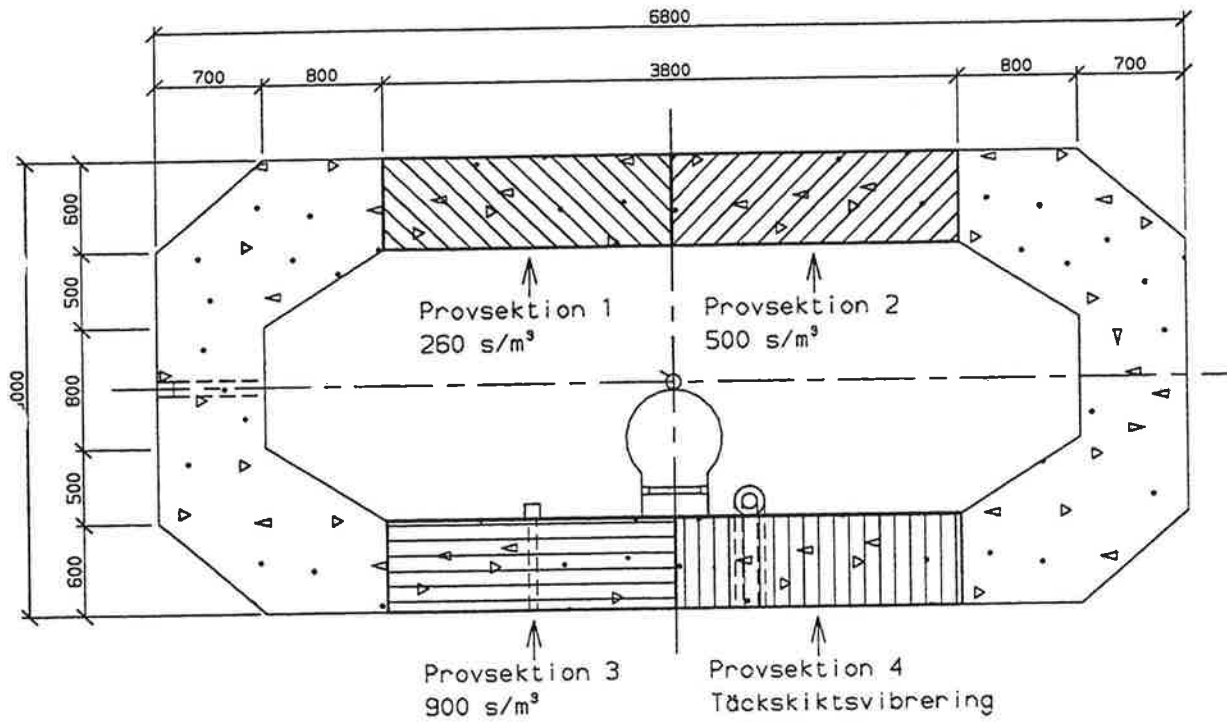
I den ihåliga pelaren med ytterdimensionerna 3,0x6,8 m² inlades fyra provsektioner inom vilka olika vibreringsmönster och vibreringsinsatser undersöktes, figur 2. Gjutsektionens yta var 10 m², höjden 3,8 m och volymen 38 m³.

Vibreringen utfördes enligt de planer som visas i figur 3, vilka innebar följande vibreringsinsatser:

- Provsektion 1. Vibreringsinsats 260 s/m³
- Provsektion 2. Vibreringsinsats 500 s/m³
- Provsektion 3. Vibreringsinsats 900 s/m³
- Provsektion 4. Täcksiktstvibrering c/c 200 mm



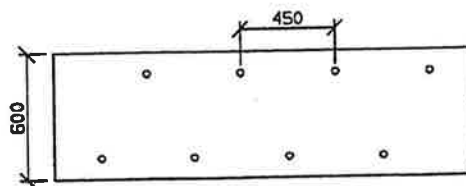
Figur 1. Gjutning av provsektioner ingående i pelare 29 D.



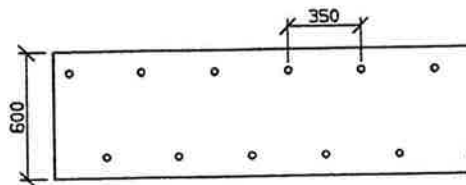
Figur 2.

Plan av provsektioner

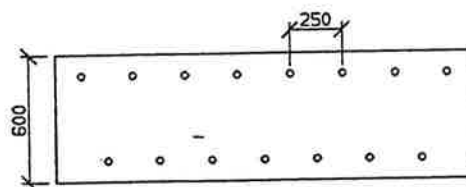
Provsektion 1
 Vibreringsinsats 260 s/m³
 Nedstickstid 12 s



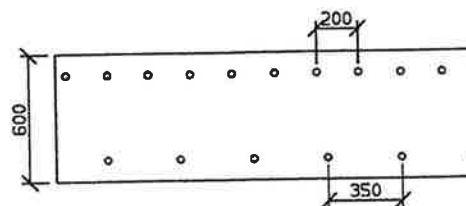
Provsektion 2
 Vibreringsinsats 500 s/m³
 Nedstickstid 18 s



Provsektion 3
 Vibreringsinsats 900 s/m³
 Nedstickstid 23 s



Provsektion 4
 Täcksiktivibrering
 Nedstickstid 20 s



Figur 3.

Vibreringsplaner. I provsektion 4 har inga provborrningar utförts. Endast den täcksiktivibrerade ytans blåsighet har bestämts.

Betongsammansättning

Betongen till Igelstabetong levereras av Igelstabetong som är ett konsortium mellan Betongindustri AB och AB Underås. Betongen till den här aktuella gjutningen kom från Underås betongfabrik i Enhörna.

Betongen var av kvalitet K45 T med anläggningscement och 5-6% lufthalt. Vct var 0,39 och största stenstorlek 32 mm. Cementhalten var 430 kg/m³. Ballastmaterialets gradering framgår av figur 4.

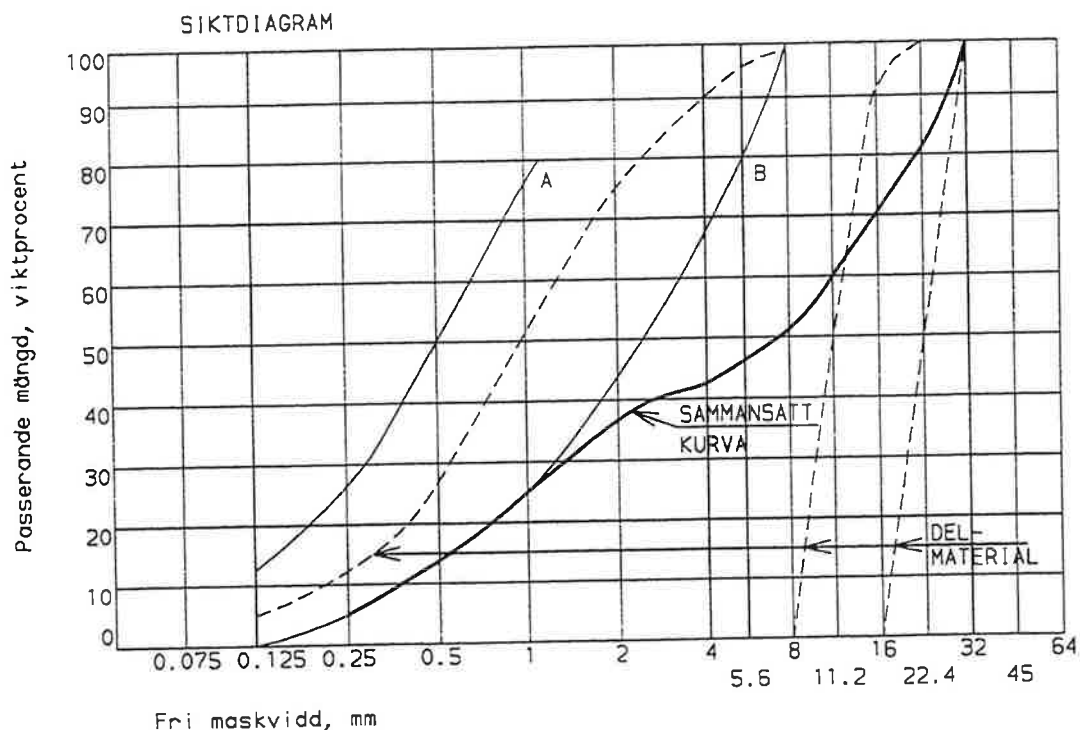
Flytmedel typ Cementa V33 (0,5% av cementvikten) samt luftporbildare av typ Cementa 88L (0,04% av cementvikten) användes.

För de sju levererade betonglassen bestämdes sättmåttan till värden mellan 70 och 90 mm med ett medelvärde av 80 mm.

Lufthalten för prover tagna ur de sju betonglassen uppmättes till värden mellan 5,2 och 6,8% och uppgick i medeltal till 5,9%

Två lufthaltsprov gjorda med förlängd vibreringstid (2x90 s), resulterade i lufthalterna 5,2 respektive 5,3% vilket antyder att betongen var förhållandevis stabil med hänsyn till inverkan av förlängd vibrering.

I samband med gjutningen tillverkades tre normenliga tryckhållfasthetskuber.



Figur 4

Ballastmaterialets gradering

Provgjutningens utförande

Betongen fylldes ur bask med strumpa i lager, vilkas tjocklek efter vibrering uppgick till i medeltal 340 mm. Efter avjämningsvibrering följdes de i figur 3 angivna vibreringsplanerna med hjälp av markeringar efter formsidorna. Nedstickstidernas längd mättes med tidur och vid varje nedstick angavs för stavoperatören, när staven skulle dras upp.

Vibreringen utfördes med stavvibratorer av typ Vipac SV 58 med 58 mm tubdiameter. För täckskiktstvibrering mellan form och armering användes en stavvibrator av typ Dynapac AL 36 med 36 mm tubdiameter.

Vid varje stavnedstick sänktes tubspetsen till ca 100 mm djup i underliggande lager för att säkerställa en god hopvibrering av de båda lagren.

Stighastigheten vid gjutningen uppgick till 0,7 m/h.

Formarna revs efter tre dygn varefter ytorna vattenhärdades under följande två dygn.

PROVNINGSRESULTAT

Densitet och tryckhållfasthet

Betongens tryckhållfasthet bestämd på normenligt tillverkade kuber efter 28 dygn uppgick till 54 MPa (medeltal av 55, 55 och 52 MPa)

Densitet och tryckhållfasthet bestämdes på utborrade kärnor med 94 mm diameter och samma längd.

Bestämningar av tryckhållfastheten utförda av Materialprovningen vid Stockholms Gatukontor gav värden med mycket stor spridning, delvis på mycket låg nivå. Något klarläggande erhöles aldrig från Materialprovningen, men efter vad som i efterhand framkommit tycks utrustningen för tryckprovning ej ha varit i fullgott skick.

Ett mindre antal borrhärnor kunde emellertid disponeras för tryck- och densitetsprov utförda vid Statens Provningsanstalt i Borås. Proven utfördes ca två månader efter gjutningen. Resultaten återfinns i tabell 1. I denna har även resultat av densitetsprov utförda vid Materialprovningen införts. Densitetsproven utförda vid Materialprovningen och Provningsanstalten har i stort sett gett överensstämmande värden.

Tabell 1. Bestämningar av tryckhållfasthet och densitet

Avstånd från gjutdelens överkant m	Vibrerings- insats s/m ³	Tryckhållfasthet		Densitet		
		MPa		kg/m ³		
1,0	260	69,4 66,8	68,1	2390 2300	2345 (2378)	
1,0	500	70,5 67,2	68,9	2340 2340	2340 (2393)	
1,0	900	68,4 69,5	69,0	2360 2390	2375 (2407)	
0,2	500	61,3 60,3	68,8 63,5	63,5	2270 2220 2310 2300	2275 (2335)
3,1	500	67,9 (48,5 57,2)	74,2 71,1	71,1	2380 2420 2370 2440	2403 (2430)

Densitetsvärden inom parentes erhållna vid Materialprovningen.
Övriga värden erhållna vid Statens Provningsanstalt.

Enligt Statens Provningsanstalt uppfyller betongen vid provningstillfället fordringarna för hållfasthetsklass K55 utvärderat enligt BBK. Detta motsvarar K50 vid en månads ålder.

En ökning av vibreringsinsatsen från 260 till 900 s/m³ ökade densiteten med drygt 1% (1,3% enligt SP och 1,2% enligt MP), vilket är en mindre ökning än den som uppnåddes vid Norra Länken (ca 3%).

Vid Igelstatron undersöktes även densitets- och hållfasthetstillväxt med ökande djup från gjutetappens överyta. I båda fallen erhöles enligt tabell 1 en relativt stor ökning som även bekräftats av andra undersökningar.

Saltfrostbeständighet

Undersökningar av saltfrostbeständigheten har utförts av Statens Provningsanstalt på utborrade kärnor ϕ 125 mm. Provningsresultaten har sammanställts i tabell 2.

Tabell 2. Bestämningar av saltfrostbeständighet

Vibrerings- insats s/m ³	Avflagning efter 56 cykler kg/m ²
260	F 0,04
	S 0,32
	S 0,04
500	F 0,06
	S 0,05
	S 10,4
900	F 0,07
	S 0,07
	S 3,6

F= frostprov på yta gjuten mot form

S= frostprov på sågad provyta från konstruktionens inre del

Frostprov gjorda på vertikala ytterytor gjutna mot form (F) gav avflagningar efter 56 cykler mellan 0,04 och 0,07 kg/m² vilket motsvarar mycket god frostbeständighet (avflagning < 0,1 kg/m²).

Frostprov på sågade ytor (S) från inre delar av konstruktionen visade i vissa fall mycket god saltfrostbeständighet, i andra fall stora avflagningar, i ett fall så mycket som 10,4 kg/m². Frostprov på två av de sågade ytorna visade att bortfrysningen av material var koncentrerad till en begränsad zon bredvid vilken ingen bortfrysning ägt rum, figur 5. Detta ledde till teorin att ett stavnedstick kan ge upphov till en lokal zon med låg lufthalt och dålig frostbeständighet. Tunnslipsanalyser också utförda av Statens Provvningsanstalt, alla på sågade ytor, se tabell 3, gav också varierande resultat. Tunnslip tagna, det ena bredvid ett förmodat stavnedstick, det andra i det förmodade nedsticket, visade klara skillnader beträffande lufthalter och även vad gäller avståndsfaktorn. Mest markant var skillnaden när det gällde lufthalten i pastadelen - 13,8% vid ingen avflagning mot 3,9% vid stor avflagning.



Figur 5. Saltfrostprov ϕ 125 mm med ojämn bortfrysning

För att ytterligare undersöka teorin om ett stavnedsticks inverkan på betongens saltfrostbeständighet utfördes även några specialundersökningar i mindre provformar beskrivna i en separat SBUF-rapport: "Undersökning av ett stavvibratoredsticks inverkan på betongens saltfrostbeständighet".

Tabell 3. Resultat av tunnslipanalyser gjorda på sågade provytor från konstruktionens inre del

Vibrerings- insats s/m ³	Lufthalt %	Lufthalt pasta %	Spec.yta -1 mm	Avstånds- faktor mm	
260	3,8	12,5	32	0,17	
	2,5	6,7	36	0,20	
500	3,8	13,8	41	0,13	1)
	2,3	3,9	44	0,21	2)
900	3,3	5,9	35	0,22	

1) Tunnslipanalys vid sidan av förmodat stavnedstick på yta utan frostangrepp.

2) Tunnslipanalys i förmodat stavnedstick med kraftigt frostangrepp.

Vattentäthet

Med avsikt att få fram mer differentierade vattentäthetsvärden tillämpade Statens Provningsanstalt en metod som avses ge den genomströmmande vattenmängden vid ett övertryck av 0,8 MPa. Provningsen utförs på borrkärnor med 94 mm diameter och 50 mm längd. Det visade sig dock att betongen vid samtliga vibreringsinsatser var så tät att någon vattengenomströmning ej uppkom, varför det endast var möjligt att bestämma vattnets inträngningsdjup, se tabell 4.

Tabell 4. Bestämning av vattenpermeabilitet

Vibreringsinsats s/m ³	Inträngningsdjup efter 7 eller 8 dygn mm
260	42 8 (medeltal 25)
500	43 10 (medeltal 27)
900	28 32 (medeltal 30)

Dessa inträngningsdjup indikerar en mycket tät betong med en permeabilitet av 10^{-12} å 10^{-13} m/s. Några differenser beroende av vibreringsinsatsen kan ej fastställas.

Kloridpermeabilitet

En undersökning av betongens kloridpermeabilitet enligt den i USA utvecklade metoden AASHTO T277-831 utfördes vid Materialprovningsen på borrkärnor med 94 mm diameter och 50 mm längd. Värdena återfinns i tabell 5.

Tabell 5. Bestämning av kloridpermeabilitet

Vibreringsinsats s/m ³	Kloridpermeabilitet Q coulomb/6 h
260	3100 2890 (medeltal 3000)
500	3275 3090 (medeltal 3180)
900	2910 3660 (medeltal 3285)

Värdena ligger inom registret "måttligt" motstånd mot kloridpenetration och är av samma storleksordning som vid motsvarande bestämningar vid Norra Länken.

Inverkan av vibreringsinsatsen kan ej bedömas som signifikant. Då detsamma gäller vattentäthet blir slutsatsen att en ökad vibreringsinsats inom det undersökta registret ej ökat betongens täthet.

Betongytornas blåsighet

Antalet blåsor på provsektionernas avformade ytor räknades med resultat som sammanställts i tabell 5.

Tabell 5. Bestämning av antal ytblåsor

Vibreringsinsats	Blåsor per m ²	
	5 -15 mm	>15 mm
s/m ³		
260	6	0,5
500	1	1
900	5	1
Täckskiktstvibrering	2	0,5

En viss koncentration av blåsor till formens översta del kunde konstateras men bilden var inte helt entydig. Med den använda plyfaformen och de tillämpade vibreringsinsatserna erhöles som framgår av tabellen praktiskt taget blåsfria ytor.

Vid andra pelargjutningar har i vissa fall en större blåsighet erhållits och man tycker sig ha fått ökad blåsighet då formarna blir äldre. Genomsnittresultatet är dock mycket bra.

En jämförelse mellan borrhärnornas blåsighet visade en något större blåsighet för kärnor borrade i provsektionen där vibreringsinsatsen varit 260 s/m³ jämfört med de högre vibreringsinsatserna.

VIBRATIONSTIDMÄTARE

I kontraktshandlingarna för Igelstabron har en minsta vibreringsinsats av 500 s/m³ föreskrivits. Även användning av vibrationstidmätare har förskrivits. Detta tillämpades i praktiken genom att en vibrationstidmätare kopplats in på en av de vid gjutningen använda stavvibratorerna. Normalt används minst tre stavvibratorer. Vid beräkning av den vid gjutningen gjorda vibreringsinsatsen har förutsatts att stavarna använts lika mycket.

Från det att gjutningarna började i februari 1991 fram till november samma år har vibratorernas totala gångtid uppmätts till värden per gjutning mellan 500 och 1000 s/m³ och i medeltal uppgått till ca 750 s/m³.

Den effektiva vibreringstiden kan i detta fall uppskattas till i runt tal 75% av den totala gångtiden, vilket betyder att vibreringsinsatsen i medeltal uppgått till ca 600 s/m³, vilket uppfyller det uppställda kravet.

Som bl a framkommit vid de i denna rapport redovisade undersökningarna är den vibreringsinsats som i början föreskrevs och tillämpades tilltagen i överkant när det gäller bropelarna, såväl pelare av massiv typ som de ihåliga pelarna. För bropelarna har sedan hösten 1991 lägre vibreringsinsatser tillämpats. Den regelbundna kontrollen med vibrationstidmätare upphörde därmed.

Med det sättmätt på 100-120 mm som sedan hösten 1991 används vid gjutning av bropelare tillämpas en vibreringsinsats av ca 250 s/m³.

BILDANALYS FÖR BESTÄMNING AV BETONGYTORS BLÅSIGHET

Det är väl bestyrkt att betongytors blåsighet minskar med ökad vibreringsinsats. Krav på begränsning av antalet ytblåsor kan därför även innebära en säkerhet för att en betongkonstruktions ytterdelar erhållit en tillfredställande vibrering.

Kravnivåer beträffande antal ytporer enligt Svensk Standard och Hus-AMA framgår av tabell 6.

Tabell 6. Kravnivåer beträffande antal ytporer enligt SIS 81 20 02 och

Hus AMA. Tillåtet antal porer 5-15 mm

<u>SS klass 1</u>	<u>SS klass 2</u>	<u>SS klass 3</u>	<u>Hus AMA</u>
2 st/m ²	30 st/m ²	80 st/m ²	50 st/m ² Inga porer >15 mm tillåts

I Bronorm 88 anges att SS klass 3 skall tillämpas. Det kan ifrågasättas om inte Hus AMAs krav på max 50 st porer per m² vore lämpligare med hänsyn till de krav som bör ställas på ytornas utseende och ytskiktens bearbetning.

I vilket fall borde vid viktiga betongkonstruktioner ett högsta tillåtet antal porer per m² vara föreskrivet. Det är också viktigt att denna föreskrift följs upp i praktiken.

Metoden att för hand räkna antalet blåsor är en tidsödande och i viss mån subjektiv metod.

Statens Institut för Byggnadsforskning (SIB) i Gävle har föreslagit videoupptagning alternativt fotografering i kombination med datoriserad bildanalys för en mer objektiv bestämning av betongytors blåsighet. Inom projektets ram har Institutet fått i uppdrag att genomföra en undersökning av den föreslagna metoden.

Undersökningen har redovisats i en SIB-rapport, "Bildanalys för bestämning av betongytors blåsighet", daterad 1991-11-22.

De ytor, vilkas blåsighet bestämts, har fotograferats med en videokamera av konventionell typ, figur 6. Bildanalyser har utförts med en PC-baserad bildbehandlare utvecklad och levererad av Innovativ Vision AB.



Figur 6.

Videofotografering för bestämning av betongytors blåsighet

Utgångspunkt för de analyser som utförts har varit bestämning av antalet blåsor med större diameter än 5 mm. En cirkulär blåsa med 5 mm diameter har 20 mm² yta, som i och för sig kan vara tänkbart kriterium för blåsstorleken. Då blåsorna som regel ej är cirkulära blir den signifikanta blåsytan mindre än 20 mm². Dessutom ger datamätningen en mindre yta än den verkliga blåsytan beroende på att blåsornas yta framträder som ljusare närmast blåsornas kanter.

För att uppnå en någotsånär tillfredställande överensstämmelse mellan resultat av bildanalys och antalet för hand räknade blåsor har SIB fått förutsätta att den blåsyta som motsvarar 5 mm blåsdiameter endast uppgår till 5 mm². De under denna förutsättning erhållna antalet blåsor har i tabell 7 jämförts med antalet för hand räknade blåsor.

Differensen mellan ytan 5 mm² och den teoretiska ytan 20 mm² är så stor att metoden förefaller tveksam. Tabell 7 visar också att överensstämmelsen mellan resultatet av bildanalys och för hand räknade blåsor blir avsevärt bättre om provytornas storlek minskas från 0,5x0,5 m² till 0,25x0,25 m².

Då metoden att utföra bildanalysen med utgångspunkt från blåsornas yta föreföll tveksam var ett naturligt önskemål att istället utgå från blåsornas diameter. Då SIBs dataprogram ej medgav en sådan analys gavs ett uppdrag till Statens Provningsanstalt i Borås att med utgångspunkt från SIBs videoupptagningar göra en bildanalys med utgångspunkt från en blåsdiameter av 5 mm. Även dessa resultat har införts i tabell 7 och som framgår av tabellvärdena har de olika metoderna gett inbördes varierade värden. SP har också visat att större delen av blåsorna >5 mm har storleken 5-7 mm. Gränsen för blåsstorleken vid 5 mm kan vara svår att fastlägga vid en handräkning vilket innebär en osäkerhet för denna metod.

Såväl Statens Institut för Byggnadsforskning som Statens Provningsanstalt har dock bedömt att metoden efter ytterligare studier borde vara fullt möjlig att tillämpa i praktiken. Kostnaderna för en bildanalys av en yta 0,5x0,5 m² har av SP uppskattats till 200-300:- vid exempelvis en serie om ca 10 bilder. Därtill kommer kostnader för videoupptagning. Räkning för hand kan utföras för uppskattningsvis 10% av kostnaderna för motsvarande bildanalys. Bildanalysen kan å andra sidan ge mer detaljerade och objektiva, för framtiden dokumenterade värden.

Vid för hand utförd blåsräkning tillämpas i praktiken ibland förfarandet att blåsor, som delvis är täckta med en tunn hinna av cementbruk, petas upp med ett vasst föremål. Motivet är att dessa hinnor med tiden försvinner. Förfarandet har tillämpats vid de bestämningar av ytornas blåsighet som utförts vid Norra Länken och Igelstatron, men ej vid de bestämningar vilkas resultat återfinns i tabell 7.

Tabell 7. Resultat av bildanalyser och räkning för hand av betongytors blåsighet

Objekt	Provytans storlek	Antal blåsor 5-15 mm		
		SIB ¹⁾	SP ²⁾	Räkning
2	0,7x0,6 = 0,42 m ²	9	5	7
3a	0,5x0,5 = 0,25 m ²	24	24	42
3b	" "	33	31	18
3c	" "	28	35	32
3d	" "	14	32	21
aI	0,25x0,25= 0,0625 m ²	11	-	14
aII	" "	6	-	6
aIII	" "	12	-	16
aIV	" "	9	-	11

1) Med utgångspunkt från 5 mm² blåsyta

2) " " " 5 mm blåsdiameter

Stockholm 1993-05-14

Lars Forssblad

Per Leckström

Stig Sällström

**OPTIMAL VIBRERINGSINSATS VID BETONGGJUTNINGAR,
ETAPP 2**

**UNDERSÖKNING AV ETT STAVVIBRATORNEDSTICKS
INVERKAN PÅ BETONGENS SALTFROSTBESTÄNDIGHET**

DELRAPPORT

**Ett utvecklingsprojekt med ekonomiskt bidrag från
Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF)**

INNEHÅLL

	Sid.
SAMMANFATTNING	2
BAKGRUND	2
UNDERSÖKNINGENS UTFÖRANDE	3
PROVNINGSRESULTAT	3
ANDRA UNDERSÖKNINGAR	6
SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	8
REFERENSER	9

SAMMANFATTNING

De sommaren 1991 utförda vibreringsundersökningarna vid gjutning av en sektion i pelare 29D i Igelstabron gav starka indikationer att stavnedstick lokalt kan påverka betongens luftporsystem med åtföljande negativ inverkan på betongens saltfrostbeständighet.

För att närmare undersöka denna fråga har provgjutningar gjorts i mindre formar med planmått 0,6x0,6 m² och höjden 0,45 m. Tre vibreringsalternativ har studerats:

1. Stavnedstick i formens mittpunkt, nedsticktid 10 s
2. Stavnedstick i formens mittpunkt, nedsticktid 20 s
3. Stavnedstick omedelbart intill formsida, nedsticktid 20 s

I samtliga fall har dålig frostbeständighet erhållits i prov som tagits ut i stavnedstickens centrumlinjer. Även i ett sågsnitt som tagits ut 100 mm från ett stavnedsticks centrumlinje har vid 20 s nedsticktid en ej acceptabel saltfrostbeständighet erhållits. På 200 mm avstånd var saltfrostbeständigheten god. Mycket dålig frostbeständighet erhöles vid den provkroppsyta intill vilken ett stavnedstick utförts.

Undersökningarna har alltså bekräftat att ett stavnedstick lokalt kan ha en ogynnsam inverkan på betongens saltfrostbeständighet. Samma verkan har erhållits vid andra undersökningar utförda i Sverige och USA som refererats i denna rapport.

Resultaten vid Igelstabron och praktiska erfarenheter av saltfrostbeständighet i olika typer av konstruktioner, indikerar dock att normalt utförd stavvibrering innanför en ytarmering ej påverkar luftporsystemen i konstruktionens yttertor i så hög grad att saltfrostbeständigheten riskeras. En sådan vibrering utförs med stavnedstickens centrumlinjer 100-150 mm från formen.

BAKGRUND

Vid provningar på Norra Länken och Igelstabron av betongens saltfrostbeständighet gjorda på utborrade kärnor från konstruktionernas inre delar erhöles mycket varierande saltfrostbeständighet. Speciellt proven från Igelstabron gav starka indikationer att ett stavnedstick lokalt kan påverka betongens luftporsystem och därmed dess saltfrostbeständighet. För att mer detaljerat och noggrannare kunna studera denna fråga genomfördes vid Igelstabron i det följande beskrivna specialundersökning utförd i tre mindre provformar.

För undersökningen erhöles från SBUF ett tilläggsanslag på 37.000:-

UNDERSÖKNINGENS UTFÖRANDE

I provformar med planmått 0,6x0,6 m² och höjden 0,45 m undersöktes tre vibreringsalternativ, figur 1.

1. Stavnedstick i formens mittpunkt, nedstickstid 10 s
2. Stavnedstick i formens mittpunkt, nedstickstid 20 s
3. Stavnedstick omedelbart intill formsida, nedstickstid 20 s

I samtliga fall tillkommer 6 s för stavens uppdragning.

Gjutningen gjordes 20 november 1991 vid Igelstabron, figur 2. Betongsammansättningen var densamma som vid det ovan nämnda fältförsöket - K45 T med anläggningscement, 32 mm maximal stenstorlek och 5-6% lufthalt. Vct var 0,39 och cementhalten 430 kg per m³. Luftporbildare CEMENTA 88L och flyttillsats CEMENTA V33 användes.

Vid gjutningen bestämdes sättmättet till 90 mm och lufthalten till 6,2%. Betongens tryckhållfasthet bestämd på tre normenliga provkuber efter 28 dygn uppgick till 52 MPa (medeltal av 52, 50 och 53 MPa).

Vibreringen utfördes med en stavvibrator av typ Vipac SV 58 med 58 mm diameter.

De gjutna provkropparna sändes efter en veckas vattenhärdning till Statens Provningsanstalt i Borås för utbörning av provkärnor med 130 mm diameter. Undersökning av saltfrostbeständigheten gjordes på ett antal sågsnitt enligt figur 1.

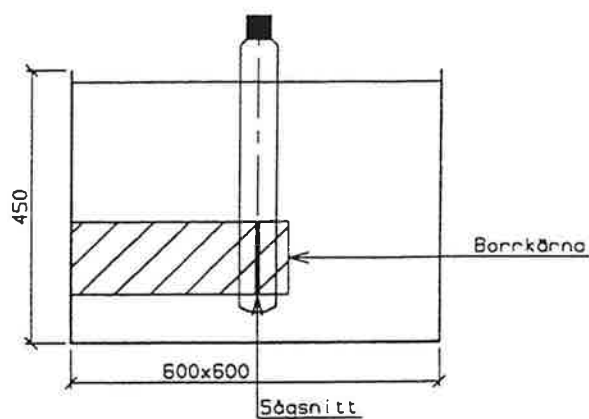
PROVNINGSRESULTAT

Saltfrostbeständigheten bestämd på sågsnitt tagna i stavnedstickens centrumlinjer var genomgående dålig, se tabell 1. Avflagningen var ungefär dubbelt så stor vid 20 s vibreringstid som vid 10 s vibrering.

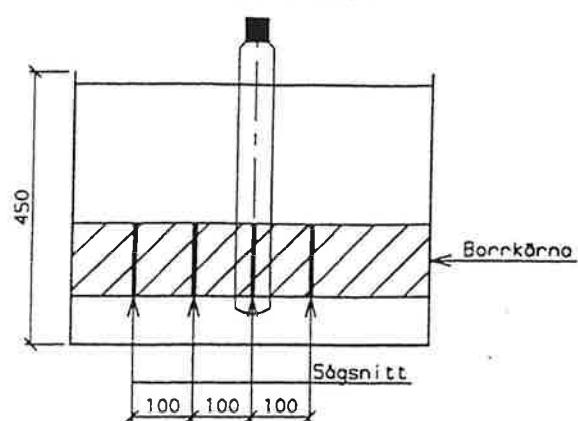
Även i två sågsnitt som tagits ut på 100 mm avstånd från stavnedstickets centrumlinje erhöles en ej acceptabel frostbeständighet. På 200 mm avstånd var frostbeständigheten god. Vibreringstiden var i dessa fall 20 s.

Jämfört med prov i stavnedstickens centrumlinjer var avflagningen ännu större vid den formsida intill vilken staven stuckits ned och vibrerat 20 s.

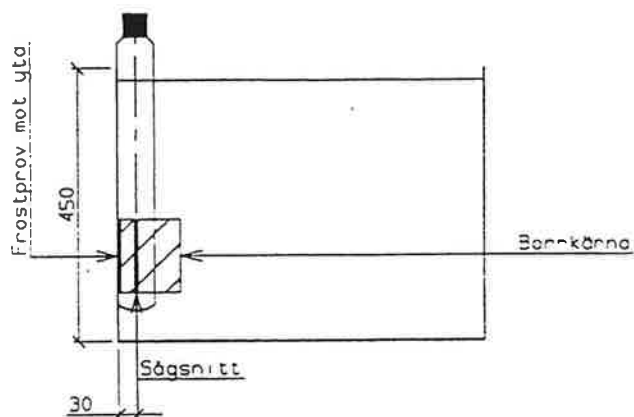
1. Stavnedstick i
formens mittpunkt
Nedsticktid 10 s



2. Stavnedstick i
formens mittpunkt
Nedsticktid 20 s



3. Stavnedstick vid
formsida
Nedsticktid 20 s



Figur 1.
Undersökta vibreringsalternativ.
Lägen av borrkärnor och sågsnitt



Figur 2

Gjutning av provformar

Tabell 1. Saltfrostbeständighet

Provform 1. Stavnedstick 10 s i formens mittpunkt

	Avflagning efter n cykler, kg/m ²									
Sågsnitt i stav- nedstickets centrum	7		14		28		42		56	
	0,55		1,61		3,20		4,45		5,43	
	0,64	0,60	1,67	1,64	3,12	3,16	5,03	4,47	6,55	5,99

Dålig frostbeständighet
Huvuddelen av avflagningarna
var i båda fallen orienterade
till ena halvan av frysytan.

Provform 2. Stavnedstick 20 s i formens mittpunkt

	Avflagning efter n cykler, kg/m ²									
Sågsnitt i stav- nedstickets centrum	7		14		28		42		56	
	0,90		2,7		6,0		8,8		11,6	
Mycket dålig frostbeständighet										
Sågsnitt 100 mm från stavned- stickets centrum	0,20		0,37		2,15		2,22		2,24	
	0,35	0,28	0,81	0,59	1,43	1,79	1,80	2,04	2,23	2,24
Dålig frostbeständighet										
Sågsnitt 200 mm från stavned- stickets centrum	0,24		0,36		0,50		0,54		0,56	
	0,12	0,18	0,19	0,28	0,25	0,38	0,26	0,40	0,27	0,42

Uppfyller kraven på god frostbeständighet

Provform 3. Stavnedstick 20 s invid formyta

	Avflagning efter n cykler, kg/m ²				
	7	14	28	42	56
Yta mot ytterform	1,29	5,12	11,02		
	1,46	5,55	11,60		Provning avbruten
	1,62	5,98	12,17		

Mycket dålig frostbeständighet

Sågsnitt i stav- nedstickets centrum	1,35	3,82	7,29		Provning avbruten
					Mycket dålig frostbeständighet

ANDRA UNDERSÖKNINGAR

Stavnedstickens inverkan på betongens frostbeständighet har även studerats i andra undersökningar.

Vid en undersökning med betong K30T, anläggningscement och 5,5% lufthalt utförd av Vattenfall (1) studerades bl a inverkan av så kallad täckskiktstvibrering mellan form och armering utförd med en stavvibrator med 36 mm tubdiameter. Nedstickstiderna var 8 s. Även i detta fall erhöles en yta med dålig saltfrostbeständighet.

Vid frostprov gjorda mot ytor av en motsvarande provmonolit vibrerad med 400 s/m³ med nedstick innanför ytarmeringen erhöles acceptabel saltfrostbeständighet, medan prov tagna mot sågsnitt från provkroppens mitt ej gav acceptabla värden. Dessa sågsnitt låg mitt emellan två stavnedstick vardera vibrerade 8 s med en 56 mm stavvibrator. Avstånden mellan sågsnitten och stavnedstickens centrumlinjer var av storleksordningen 60-80 mm.

Sommaren 1991 utförde CBI på uppdrag av Vägverket en liknande undersökning som de på Norra Länken och Igelstabron vid ett mindre brobygge på E18 vid Grillby (2). I detta fall provades betong med konsistenserna HF och FF (halvflyt och fullflyt). Efter samråd mellan projektgruppen och Vägverket genomfördes även vid Vägverkets projekt undersökningar i mindre provformar för att närmare undersöka inverkan av ett stavnedstick på saltfrostbeständigheten.

Formarna hade planmått 0,6x0,6 och höjden 0,5 m. Betong K40 HF (halvflyt) med anläggningscement provades. Lufthalten var 4%. En stavvibrator med 57 mm diameter användes. Stavnedstick gjordes i formens mittpunkt med 5, 10 respektive 20 s nedstickstid.

Vid 10 och 20 s nedstickstid erhöles i stavnedsticken en ej acceptabel saltfrostbeständighet. Vid 5 s nedstickstid var saltfrostbeständigheten god. På 80 mm avstånd från stavnedstickets centrum var saltfrostbeständigheten vid alla alternativ mycket god.

I en våren 1992 publicerad artikel redovisas resultat av liknande undersökningar utförda vid Cornelluniversitetet i USA (3). I detta fall erhöles en klart minskad lufthalt och även en minskad specifik yta och ökad avståndsfaktor i ett stavnedstick. Dessa faktorer var i stort sett opåverkade på avståndet 125 mm och mer från stavnedstickets centrumlinje. Inga prov gjordes mellan stavnedsticket och provet på ovannämnda avstånd.

Vibreringen utfördes i detta fall med en stavvibrator med 35 mm diameter, alltså med avsevärt mindre diameter än de stavvibratorer som användes vid de flesta svenska undersökningarna. Stavvibratorns diameter har stor inverkan på dess vibreringsverkan. Vibreringstiden för nedsticket var endast 7 s.

Vid ett svenskt forskningsprojekt (4), närmast avseende metoder för lufthaltsbestämningar i färsk betong, undersöktes även saltfrostbeständighet och genom planslip också lufthalt och avståndsfaktor i olika provsektioner i stavvibrerade provbalkar. Balkarna hade plandimensionerna 0,3x1,6 m² och höjden 0,9 m. En stavvibrator med 38 mm tubdiameter användes. Nedstickstiderna 20, 40 och 60 s undersöktes.

Saltfrostbeständighet och lufthalt 95 mm vid sidan av stavnedstickets centrumlinje undersöktes vid 40 s vibreringstid, varvid ingen negativ inverkan kunde konstateras. Med hjälp av vertikalt borrade kärnor i stavnedstickens centrumlinjer undersöktes även inverkan i stavnedstickens övre delar. I dessa fall erhöles i några fall en relativt stor avskalning vid balkens yta, medan någon inverkan på 70 mm djup ej kunde konstateras. Inverkan vid ytan kan enligt rapporten bero på separation och/eller bristfällig härdning. Även Grillbyförsöket, (2), antyder en mindre inverkan på saltfrostbeständigheten vid stavnedstickets övre del jämfört med stavens nedre del. En förklaring kan vara den vandring av större och mindre luftporer mot överytan som äger rum vid långvarig vibrering.

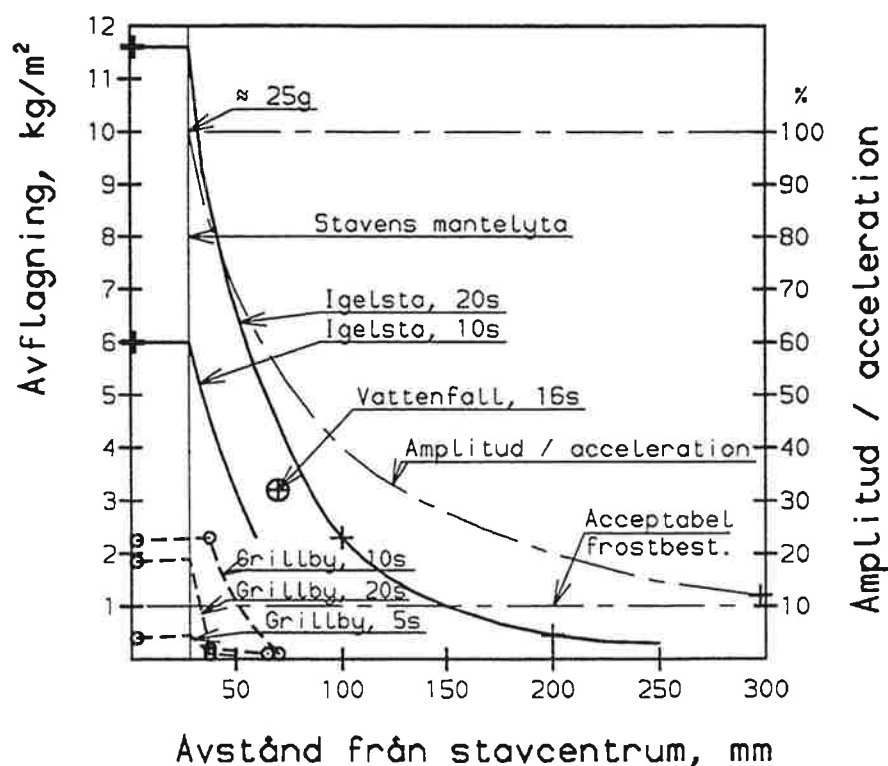
I en amerikansk rapport, (5), beskrivs frostsador på ytan av vägbeläggningar utförda med beläggingsmaskin försedd med ett antal liggande fast monterade stavvibratorer, som dras fram av maskinen. Frostsador har observerats i parallella stråk, där vibratorerna dragits fram och orsaken anses vara den ogynnsamma inverkan på luftporsystemet som uppkommit närmast stavarna. Vid en kompletterande laboratorieundersökning bekräftades att stavvibrering åstadkom en lokal sänkning av betongens lufthalt och saltfrostbeständighet.

SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Av undersökningarna har klart framgått att en stavvibrator kan åstadkomma en lokal försämring av betongens luftporsystem och saltfrostbeständighet. Inverkan är speciellt utpräglad i och närmast intill själva stavnedsticket men avtar sedan snabbt med ökat avstånd från nedsticket.

Inverkan på saltfrostbeständigheten illustreras av diagrammet, figur 3, som är en sammanställning av resultat från såväl Igelsta som Grillby och Vattenfall. Nedstickens varaktighet utgör en viktig faktor. Långvariga nedstick åstadkommer större inverkan på luftpor-systemet såväl närmast nedsticket som längre bort från detta. Vid Igelstaproven användes avsiktligt långvariga nedstick, 20 s plus 6 s uppdragningstid, för att accentuera effekterna. Diagrammet indikerar att detta medfört en nedsättning av saltfrostbeständigheten till oacceptabel nivå ända bort till ca 150 mm avstånd från stavnedstickets centrumlinje. Resultaten från Vattenfall överensstämmer rätt väl med Igelstaproven. För Grillbyproven var avståndsverkan mindre och sambandet med nedstickens varaktighet mindre klart. Vid 20 s nedstickstid faller försöksvärdena utanför bilden i övrigt. En förklaring kan vara att stavnedsticket i detta fall kommit något snett i förhållande till avsett läge.

För jämförelse har i diagrammet också lagts in resultat av tidigare undersökningar, (6), som visar hur vibrationernas amplitud och acceleration avtar med ökat avstånd från staven.



Figur 3

Saltfrostbeständighetens beroende av avståndet från stavnedstick och nedstickets varaktighet (s)

Resultaten indikerar att man bör begränsa stavnedstickens varaktighet i de konstruktionsdelar för vilka saltfrostangrepp kan förväntas. En praktisk rekommendation synes vara att inte överstiga 10 á 15 s per nedstick exklusive tiden för stavens uppdragning. Rekommendationen gäller de partier som verkligen kan bli utsatta för saltfrostangrepp, dvs framförallt överytor och vissa yttertor. Som exempel kan nämnas brobanepplattor, kantbalkar samt ytterdelar av pelare utsatta för saltkontakt och samtidigt hög fuktbelastning (t.ex intill en närliggande vägfärbana).

De inre delarna av grova konstruktioner torde utan risk kunna vibreras med långvarigare nedstick. Det kan däremot vara lämpligt att utforma vibreringsplanerna med kortare nedstick i kombination med minskade avstånd mellan stavnedsticken i de känsligare ytterpartierna. Begränsade avstånd mellan nedsticken bidrar också till att så blås fria ytor som möjligt erhålls.

Se vidare avsnitt "Åtgärder på byggplatsen" i slutrapporten "Optimal vibreringsinsats vid betonggjutningar".

Stockholm 1993-05-14

Lars Forssblad

Per Leckström

Stig Sällström

REFERENSER

1. Alemo, J. och Grändås, J.Å. "Optimal vibreringsinsats för anläggningsbetong". FUD-rapport, Vattenfall 1989.
2. Petersson, Ö., Johansson, A. och Granhed, B. "Optimal konsistens för brobetong". CBI rapport 3:92.
3. Simon, M.J., Jenkins, R.B. och Hover, K.C. "The Influence of Immersion Vibration on the Void System of Air Entrained Concrete". Durability of Concrete. G.M. Idorn International Symposium. ACI SP-131, 1992.
4. Jönsson, U. "Snabb metod för leveranskontroll av frostbeständig betong". Skanska, Malmö 1991.
5. Stark, D.C. "Effect of Vibration on the Air-Void System and Freeze-Thaw Durability of Concrete". PCA Research and Development Bulletin. Portland Cement Association, Skokie, Illinois 1986.
6. Forssblad, L. "Undersökningar avseende stavvibrering av betong". Nordisk Betong 1963:1.

OPTIMAL VIBRERING AV BETONG K45 MED ENDAST LITEN LUFTTILLSATS

Ett utvecklingsprojekt med bidrag från Banverket och Svenska Byggbranschens
Utvecklingsfond (SBUF)

INNEHÅLL

	Sid
SAMMANFATTNING	2
BAKGRUND	3
UNDERSÖKNINGENS UTFÖRANDE	4
Betongsammansättning och gjutegenskaper	5
Formar och armering	6
Provgjutningens utförande	6
Utborrning av provkärnor	7
PROVNINGSRESULTAT	8
Densitet och tryckhållfasthet	8
Vattentäthet	9
Betongytornas blåsighet	11
Frostprov	11
REFERENSER	12

SAMMANFATTNING

Tidigare undersökningar avseende optimal vibreringsinsats vid betongjutningar har i huvudsak utförts med anläggningsbetong med 5-6% lufthalt och trögflytande konsistens.

Vid Igelstabron används sedan hösten 1991 sådan betong endast för bropelarnas nedre delar och för brobanepattan för vilka konstruktionsdelar viss saltpåverkan ej helt kan uteslutas.

För övriga konstruktionsdelar, som utgör ca 70% av all betong, används en betongsammansättning med endast liten lufttillsats resulterande i c:a 2,5% total lufthalt. Denna tillsats har visat sig lämplig för att ge betongmassan tillräcklig sammanhållning och transportstabilitet samt goda gjutegenskaper.

De i denna rapport redovisade undersökningarna har utförts som ett komplement till tidigare studier för att belysa vibreringsinsatsens inverkan även på betong med endast liten lufthalt.

Jämförande undersökningar har gjorts i tre provformer där betongen vibrerades 75, 250 respektive 600 s/m³. Formarnas plandimensioner var 1,4x1,4 m² och höjden 1,6 m.

Densitet och tryckhållfasthet bestämd på utborrade kärnor visade båda en viss ökning då vibreringen ökade från 75 till 250 s/m³. En ytterligare ökning upp till 600 s/m³ gav ingen signifikant förändring av vare sig densitet eller hållfasthet. Med den undersökta betongen erhöles i detta fall en optimal vibreringsinsats av ca 200-300 s/m³. Sättnåttet var 100-120 mm, dvs konsistens L (lättflytande).

Vad gäller betongens vattentäthet erhöles inga signifikanta skillnader vid ökade vibreringsinsatser. Däremot påverkades vattentätheten i hög grad av ytornas härdning.

Ytornas frostbeständighet mätt i rent vatten (sötvatten) visade generellt mycket bra resultat. Någon inverkan av ytornas härdning kunde ej påvisas i detta fall.

BAKGRUND

Under senare år har i Sverige ett antal undersökningar utförts för att närmare studera vibreringsinsatsens inverkan på den hårdnade betongens kvalitetsegenskaper.

En undersökning av bl a betongens saltfrostbeständighet publicerad av Vägverket år 1987 ledde till en rekommendation att för anläggningsbetong med trögflytande konsistens och 5-6% luft tillämpa vibreringsinsatser upp mot 1000 s/m³ (1).

Ett SBUF-projekt "Optimal vibreringsinsats vid betonggjutningar" omfattade i en första etapp bl a en fältundersökning utförd 1989 vid gjutning av en stödmur vid byggnad av Norra Länken i Stockholm (2). Betong K40 T med 5-6% luft användes. Resultaten indikerade en optimal vibreringsinsats av 400-600 s/m³ för betong med trögflytande konsistens. I följande projektetapper har undersökningar utförts vid bygget av Igelstabron i Södertälje.

En undersökning av vibreringsinsatsens inverkan på anläggningsbetong K30 T med 5-6% luft har utförts av Vattenfall vid Älvkarlebylaboratoriet (3). I detta fall erhöles relativt små skillnader mellan de undersökta vibreringsinsatserna 200, 400 och 1000 s/m³. Ytornas blåsighet minskade dock påtagligt med ökad vibreringsinsats.

Nyligen har resultaten av en fältundersökning utförd av CBI på uppdrag av Vägverket redovisats (4). Vid gjutning av en mindre bro vid Grillby användes flytbetong K40 med ca 5% luft. För konsistens halvflyt angavs 200 s/m³ vara en lämplig vibreringsinsats.

Ovannämnda undersökningar har i huvudsak omfattat anläggningsbetong med 5-6% luft. Vid Igelstabron används sedan hösten 1991 sådan betong endast för bropelarnas nedre delar och brobanepattan. För merparten (ca 70%) av all betong, används en betongsammansättning med endast 2,5% lufthalt. En komplettering av tidigare undersökningar med en studie av vibreringsinsatsens inverkan på betong med låg lufttillsats har därför ansetts önskvärd. Vid utarbetandet av försöksprogrammet framkom också ett önskemål att jämföra inverkan av olika metoder för betongytornas härdning.

För ovannämnda kompletterande undersökning, vars resultat redovisas i det följande, har anslag erhållits från Banverket (55.000,-) och SBUF (60.000,-). Arbetet har drivits av en projektgrupp bestående av Lars Ekroth, projektledare, Lars Forssblad, Per Leckström och Stig Sällström. Planering och genomförande har skett i nära samarbete med Bo Eriksson-Vanke, Banverket.

Igelstabron byggs av konsortiet Igelstabron i vilket ingår NCC, Veidekke och Eeg-Henriksen på uppdrag av Banverket. Betongen till bygget levereras av Igelstabetong, som är ett konsortium mellan Betongindustri AB och AB Underås.

UNDERSÖKNINGENS UTFÖRANDE

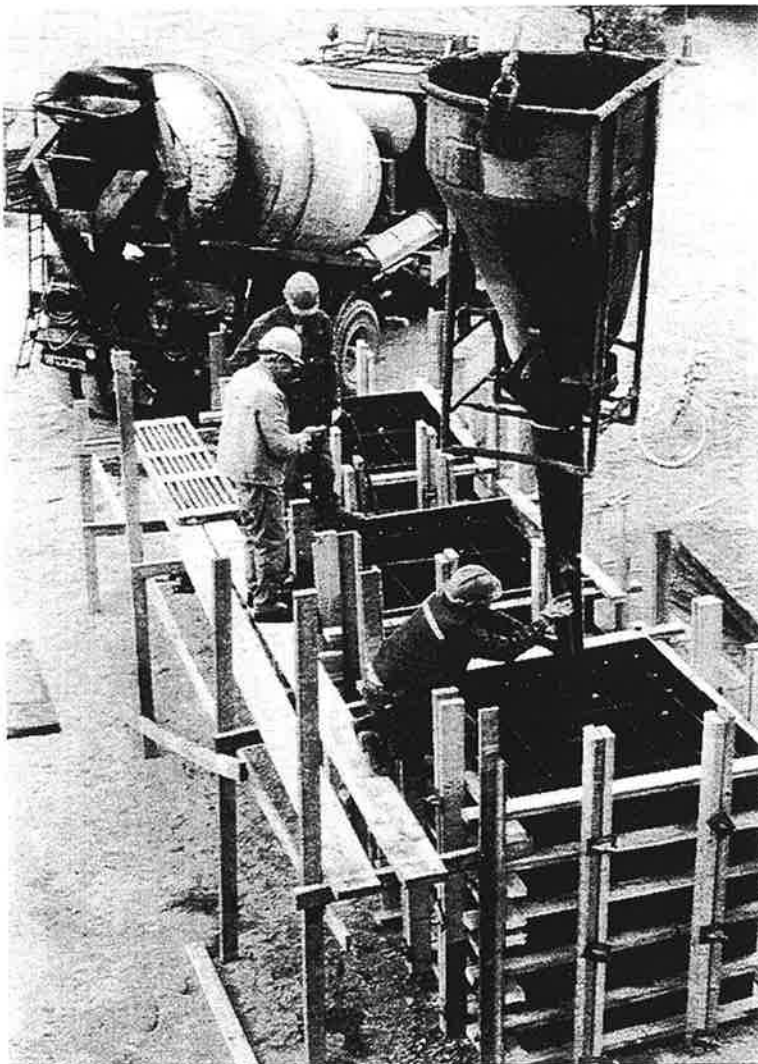
Två alternativ till undersökningens utförande diskuterades. Det ena alternativet gick ut på att utföra undersökningen i samband med gjutning av en sektion av en av bropelarna. Enligt det alternativ som valdes utfördes provgjutningar i tre specialtillverkade formar med plandimensionerna 1,4x1,4 m² och höjden 1,6 m, figur 1. Provformarnas storlek valdes för att minimera randeffekter. Gjutning i speciella formar gjorde det avsevärt lättare att hålla konstanta lagertjocklekar och följa de förutbestämda vibreringsplanerna.

Tre vibreringsinsatser provades, 75 s/m³ (form A), 250 s/m³ (form B) och 600 s/m³ (form C).

Följande härdningsmetoder undersöktes på olika vertikala ytor:

- * Membranhärdning (Betokem OM) som sprutades på ytan efter avformning vid ett dygn.
- * Vattenhärdning i 5 dygn efter avformning vid ett dygn.
- * Kvarsittande form i 5 dygn.
- * Obehandlad yta efter avformning vid ett dygn.

Den härdnade betongens tryckhållfasthet, densitet, vattentäthet och frostbeständighet i rent vatten (sötatten) bestämdes vid Statens Provningsanstalt, Borås genom provning av utborrade kärnor. Antalet blåsor på de avformade ytorna har räknats.



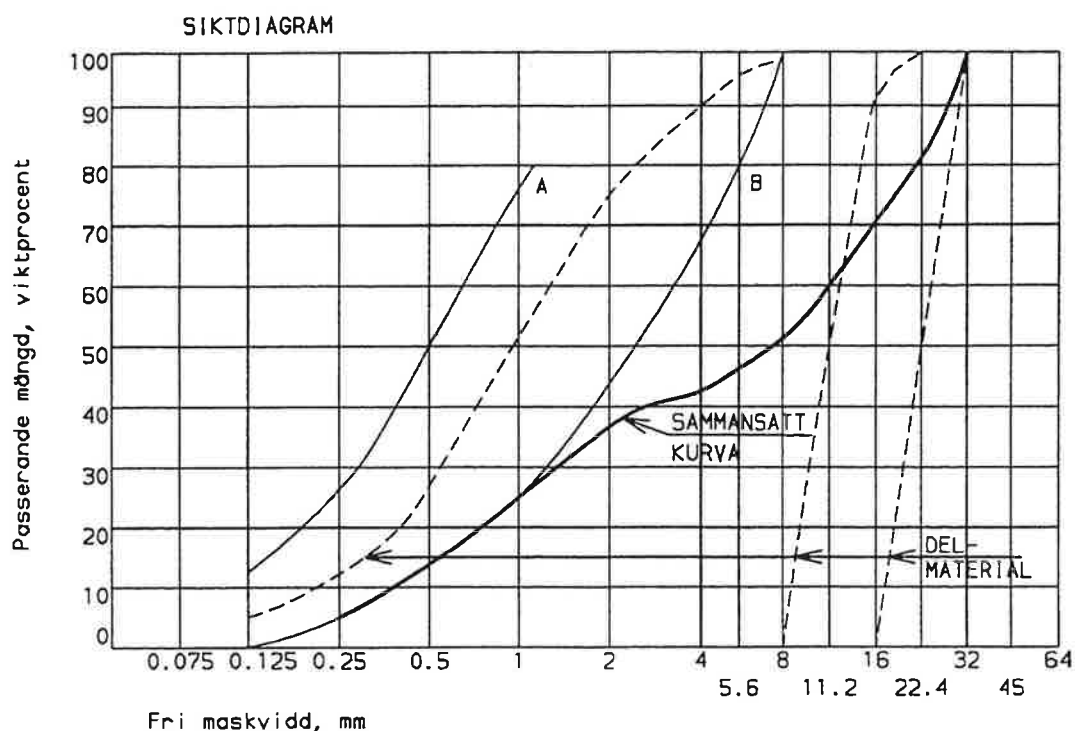
Figur 1

Gjutning av provkroppar

Betongsammansättning och gjutegenskaper

Vid provgjutningen, som utfördes 28 september 1992, användes den vid bygget normalt använda betongen K45 med anläggningscement, konsistens L (lättflytande), vct 0,45 och 32 mm största stenstorlek. Lufthalt 2,5%. Cementhalten var 360 kg per m³. Ballastmaterialets gradering framgår av figur 2. Motsvarande betong med 5-6% luft fordrar en cementhalt av 430 kg per m³.

Flytmedel typ Cementa 92M (0,5% av cementvikten) användes. Vidare gjordes en mindre tillsats av luftporbildande medel typ Cementa 88L (0,01% av cementvikten) för att minska separationen och förbättra gjutegenskaperna. Därigenom förhöjdes lufthalten till totalt 2,5%. Betongen levererades från Igelstabetongs fabrik invid arbetsplatsen.



Figur 2

Ballastmaterialets gradering

På provplatsen uppmättes följande värde vid betongleveransen:

	Sättmått mm	Lufthalt %	Betongtemp. C°
Lass 1	115	2,5	16
Lass 2	100	2,5	18

Konsistensförändringarna för betong från lass 2 uppgick till följande värden:

Tid efter leverans min	Sättmått mm	Antal slag (omformningsmätare)
25	100	-
60	80	21
80	65	30
120	40	-

En undersökning av vattenseparationen utförd enligt SS 13 71 12 gav följande värden:

Tid min	Vattenseparation ml
60	5
75	8
90	10
105	12
120	15
135	20
150	22
165	25 = 0,26%
180	25

Värdena ligger klart under den nivå som angetts som acceptabel (0,40%).

Den använda betongen karakteriseras av god sammanhållning och god arbetbarhet.

Formar och armering

Formarna utfördes med ytor av Plyfaskivor. Ytarmering ϕ 16 c/c 200 med 45 mm täckskikt inlades vid alla vertikala formytor.

Provgjutningarnas utförande

Lagertjocklekarna valdes till 400 mm vilket betyder att fyra lager lades ut i varje form. Betongen fylldes ur bask genom en 1,5 m lång strumpa, figur 1.

Vibreringsplanerna framgår av figur 3. De punkter i vilka stavnedsticken skulle göras markerades med ståltrådar spända över formarnas ytor. Nedstickstiderna mättes med tidur och vid varje nedstick angavs för stavoperatören, när staven skulle dras upp.

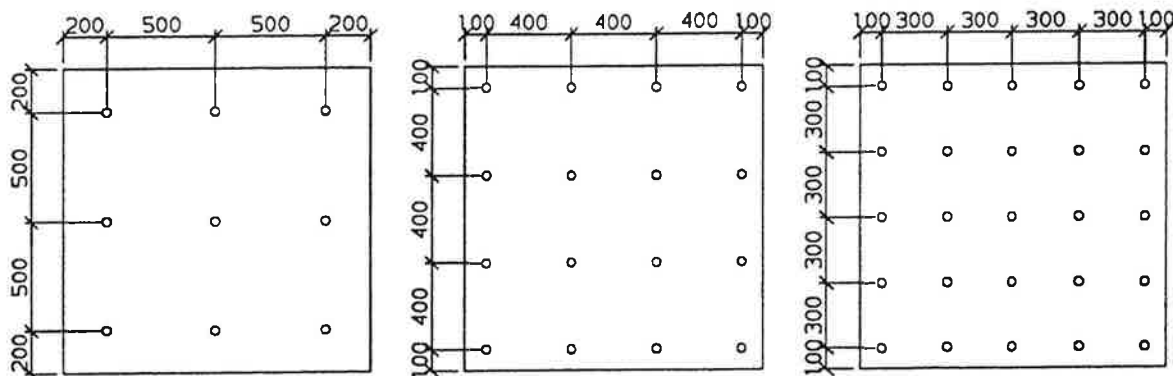
Vibreringen utfördes med en stavvibrator av typ Dynapac AL 56 med 56 mm tubdiameter och 471 mm tublängd. I de första lagren sänktes tubspetsen ned till 350 mm djup från betongytan för att hindra kontakt med formens botten. I övriga lager sänktes tubspetsen till 500 mm djup, dvs 100 mm ned i underliggande lager för att lagren skulle bli hopvibrerade.

FORM A
Vibrerings-
insats 75 s/m³
Nedsticktid 7 s

FORM B
Vibrerings-
insats 250 s/m³
Nedsticktid 12 s

FORM C
Vibrerings-
insats 600 s/m³
Nedsticktid 19 s

7



Figur 3

Vibreringsplaner

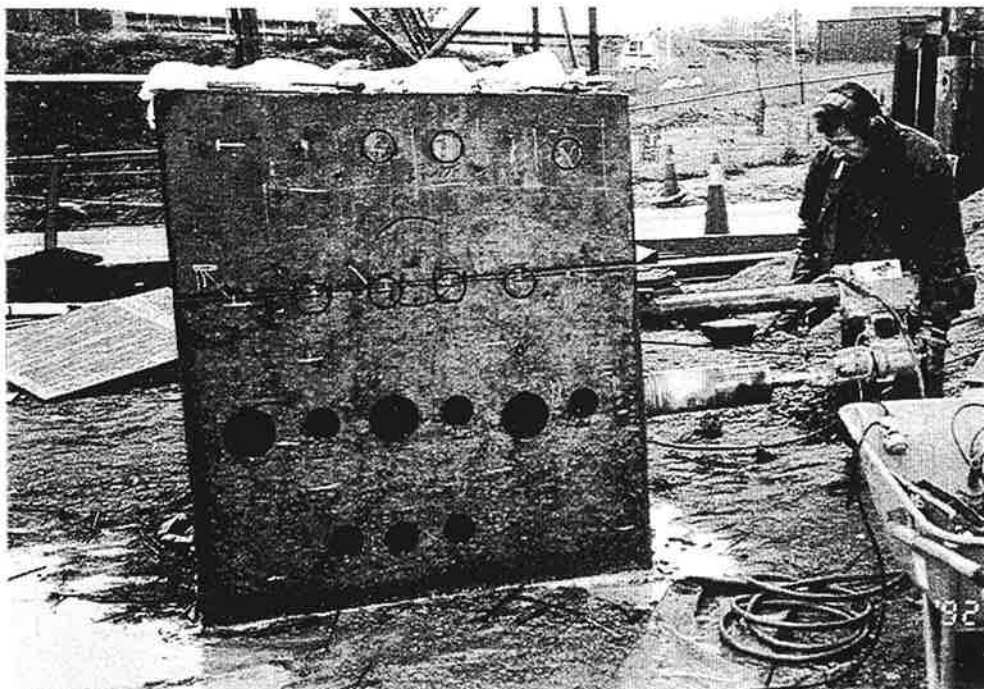
Stighastigheten vid gjutningen uppgick till 0,8 m/h.

I samband med provgjutningarna tillverkades normenliga provkroppar- tre tryckhållfasthetskuber, tre vattentäthetsprovkroppar och en kub för frysprovning i rent vatten.

Utborrning av provkärnor

Utborrning av provkärnor för undersökningar av betongens tryckhållfasthet, densitet, vattentäthet och frostbeständighet i rent vatten gjordes 14-15 oktober, drygt två veckor efter gjutningen, figur 4. Borrningen utfördes av AB Hålmetoder. Borrkärnorna togs ut på olika nivåer genom horisontell borrning i de vertikala ytorna.

Efter utborrning förvarades borrkärnorna under en natt i ett rumstempererat förråd och inlades därefter i plastpåsar före biltransport till Statens Provningsanstalt i Borås.



Figur 4

Utborrning
av
provkärnor

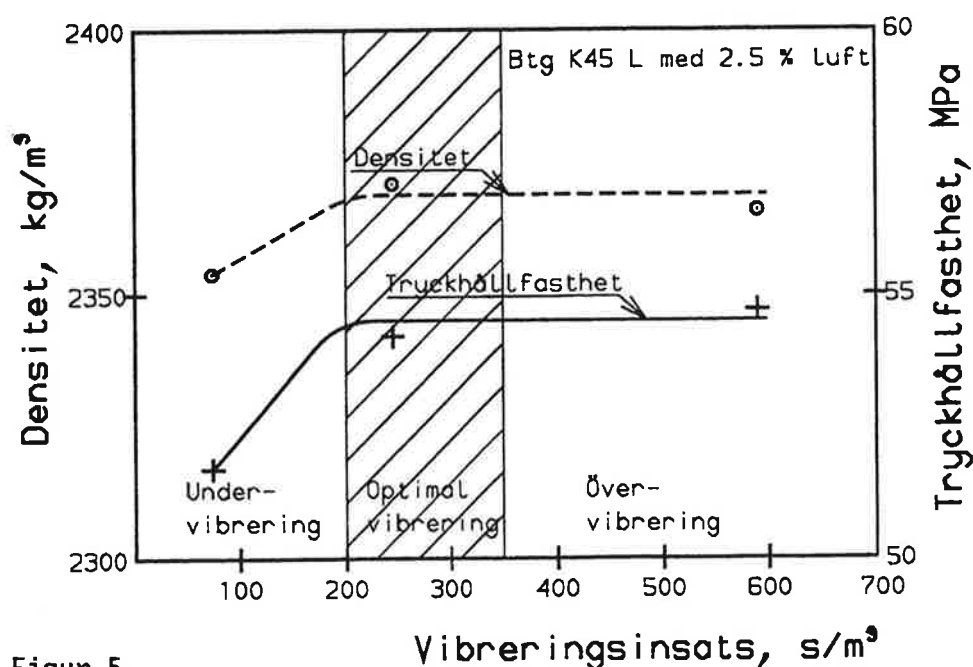
PROVNINGSRESULTAT

Densitet och tryckhållfasthet

Betongens hållfasthet bestämd genom tryckning av normenligt tillverkade kuber efter 28 dygn uppgick till 56 MPa (medeltal av 53,8, 56,1 och 58,4).

Enligt en okulär besiktning av de avformade ytorna föreföll de tre provmonoliterna för vilka vibreringsinsatserna uppgick till 75, 250 respektive 600 s/m³ alla vara väl vibrerade. En okulär besiktning av borrhärnornas mantelytor visade dock att de två längre vibreringstiderna gett en homogen betong med mycket få blåsor, medan vibreringsinsatsen 75 s/m³ resulterat i en viss frekvens blåsor.

Resultat av densitets- och tryckhållfasthetsprov utförda på borrhärnor ϕ 92 mm (h=92 mm) vid 28 dygns ålder visas i diagrammet, figur 5. Varje punkt anger medeltalet av fyra borrhärprov. Dessa borrhärnor var tagna på 0,6 m djup från överytan. Hållfastheten ökade med ca 5% då vibreringsinsatsen ökade från 75 till 250 s/m³. Motsvarande densitetsökning var 0,8%. En ökning av vibreringsinsatsen från 250 till 600 s/m³ medförde ingen signifikant förändring av vare sig hållfasthet eller densitet.

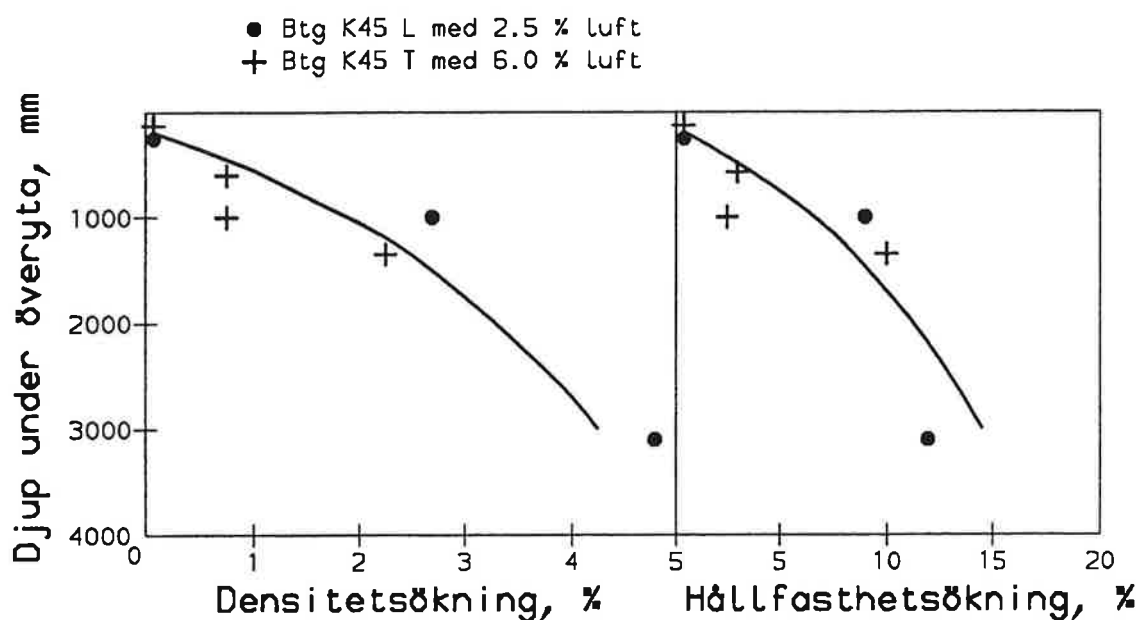


Figur 5

Samband mellan densitet, respektive tryckhållfasthet och vibreringsinsats

I betong med 5-6% luft har i detta register en signifikant ökning av densitet och hållfasthet i vissa fall erhållits, t ex vid Norra Länken. Till betydande del har detta dock berott på en icke önskvärd minskning av halten mindre luftporer.

Det är tidigare känt att såväl hållfasthet som densitet ökar med ökande djup från betongens överyta. Resultat av undersökningar utförda vid Igelstabron på borrkärnor tagna på olika djup från överytan visas i diagrammet, figur 6, och indikerar en densitetsökning från ytan ned till 3,0 m djup med ca 4%. Motsvarande ökning av tryckhållfastheten är av storleksordningen 15%.



Figur 6

Ökning av densitet, respektive tryckhållfasthet med ökande avstånd från gjutetappens överyta.

Vattentäthet

Vattentätheten mätt mot monoliternas vertikala yttertytor har undersökts på borrkärnor ϕ 150 mm genom bestämning av inträngningsdjupet. Provingarna utfördes 29–38 dygn efter gjutningen. I de fall ytorna var membranhärdade borstades provytorna med stålborste före provningen. Borrkärnorna var i detta fall uttagna på 0,6 eller 1,0 m djup från överytan.

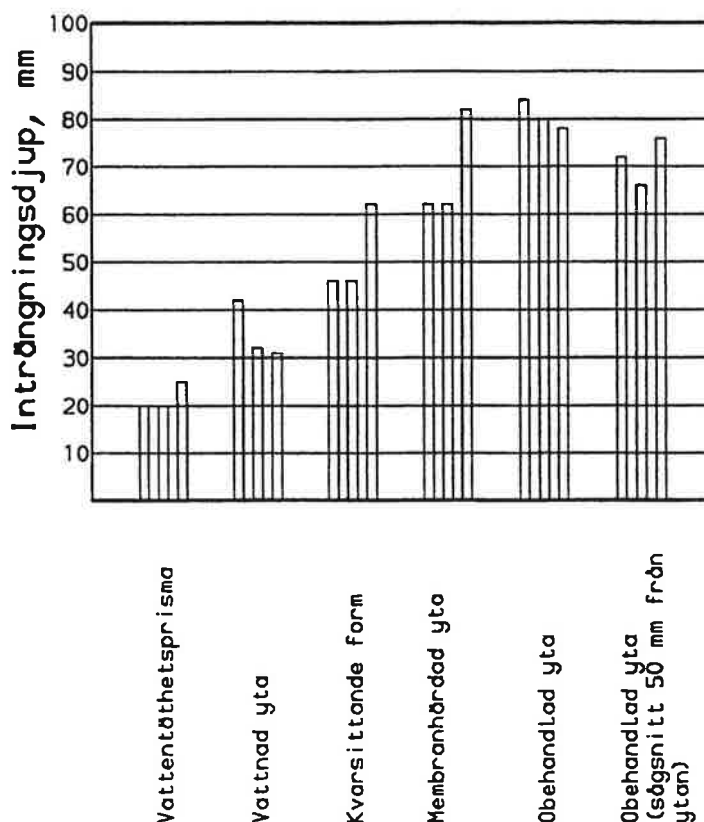
Resultaten av vattentäthetsproven, figur 7, stämmer mycket bra med resultat av tidigare undersökningar bl a utförda av Statens Provningsanstalt. Det normenligt utförda vattentäthetsprovet utfört på provkroppar har gett det minsta inträngningsdjupet, ca 20 mm. Vattning av den avformade ytan har resulterat i något större inträngningsdjup, varefter följer i nämnd ordning kvarsittande form, membranhärdning och obehandlad yta. Sistnämnda alternativ har alltså resulterat i den otätaste betongen.

Prov mot ett sågsnitt 50 mm från obehandlad yta har gett en oväntat liten förbättring jämfört med ytan.

En ökad vibreringsinsats har ej haft någon signifikant inverkan på vattentätheten, se tabell 1. Med tanke på skillnaden i hållfasthet och densitet samt den något större blåsigheten på borrhärnorna vid vibreringsinsatsen 75 s/m^3 är detta förvånande.

Tabell 1 Vattentäthet bestämd av inträngningsdjup.
Membranhärdad yta.

Vibreringsinsats s/m^3	Inträngningsdjup mm	
75	65-70	Medeltal 70
	65-70	
	60-65	
250	60-65	Medeltal 70
	60-65	
	80-85	
600	80-85	Medeltal 80
	70-80	
	65-75	



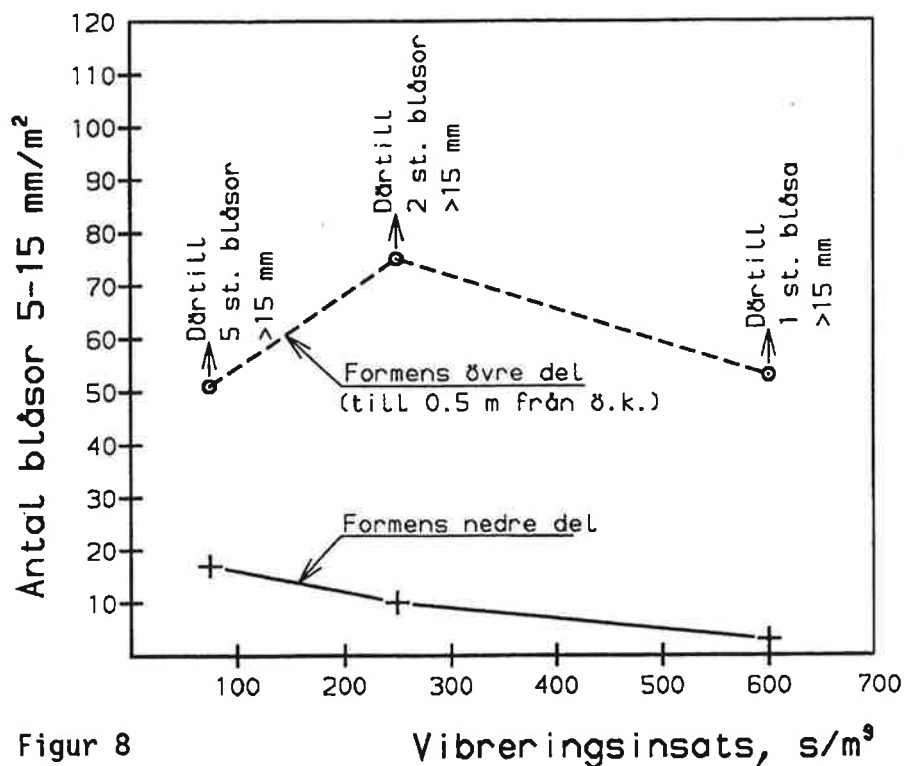
Figur 7

Resultat av vattentäthetsprov vid olika härdningsmetoder.
Vibreringsinsats 250 s/m^3

Betongytornas blåsighet

Antalet blåsor på de vertikala betongytorna har räknats och resultaten visas i diagrammet, figur 8. Vid alla de undersökta vibreringsinsatserna var ytornas övre delar ned till ca 0,5 m från överytan relativt blåsiga. Även blåsor > 15 mm förekom. Betongytornas nedre delar var genomgående mycket blåsfria med ett största antal blåsor av c:a 20 st/m². En tydlig minskning av antalet blåsor med ökad vibreringsinsats kunde dock konstateras.

Den större blåsigheten i ytornas övre delar bekräftar önskvärdheten av återvibrering i överdelarna av betongkonstruktioner.



Figur 8

Vibreringsinsats, s/m³

Antal ytblåsor vid olika vibreringsinsatser.

Frostprov

Den normenliga provkropp för frostprovning i rent vatten som tillverkades vid provgjutningen gav vid prov utfört vid SP mycket god frostbeständighet (avflagnings 0,01 kg/m² efter 56 cykler). Provning mot ytterytorna gjorda på provkärnor borrade på 1,0 m djup från överytan i monolit B visade också genomgående mycket god frostbeständighet i registret 0,03-0,05 kg/m² efter 56 cykler. Metoden för ytans härdning har ej signifikant påverkat frostbeständigheten, vilket stämmer med resultaten av tidigare undersökningar utförda vid SP.

Stockholm 1993-03-29

Lars Ekroth

Lars Forssblad

Per Leckström

Stig Sällström

REFERENSER

1. "Bearbetning fria betongytor". Vägverket BDa-rapport 86304-32, Borlänge 1987
2. Forssblad L, Leckström P och Sällström S. "Optimal vibreringsinsats vid betonggjutningar". SBUF, Stockholm 1990.
3. Alemo J och Grändås J-Å. "Optimal vibreringsinsats för anläggningsbetong". Vattenfall 1989.
4. Petersson Ö, Johansson A och Granhed B. "Optimal konsistens för brobetong". CBI rapport 3:92.

