



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R95:1989

Vattenbilning i betongkonstruktioner

Ingvar Nilsson

| | |
|-------------------------------------|-----|
| INSTITUTET FOR BYGGDOKUMENTATION | |
| Acnr | |
| Plac | Ser |

R
84

Byggeforskningsrådet

R95:1989

VATTENBILNING I BETONGKONSTRUKTIONER

Ingvar Nilsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
831430-6 från Statens råd för byggnadsforskning
till ABV, numera NCC Bygg AB, Malmö.

REFERAT

Rapporten behandlar den i Sverige av NCC (ABV) och Atlas Copco introducerade metoden för bilning i betong med hjälp av högtrycksvattenstråle. Metod och utrustning är framtagna i samarbete men tillverkas av Atlas Copco. I samråd med Statens vägverk har arbetsteknik och utrustning anpassats för att uppfylla krav på bl a färdigbilad yta som ger hög vidhäftning vid pågjutning.

Utrustningen utvecklades ursprungligen för bortbilning av skadad betong på horisontella ytor såsom brobaner, plattor, parkeringsdäck, kajdäck, industrigolv m m. Efter hand kompletterades utrustningen med tillbehör som möjliggjorde bilning av vertikala ytor såsom väggar i reningsverk, bropelare m m. Det är i dag möjligt att vattenbila många andra tillämpningar även i andra vinklar. En ständig utveckling pågår av tillbehör och arbetsteknik.

Rapporten vänder sig till konstruktörer och byggherrar/förvaltare vilka har att fatta beslut i frågor rörande reparation av skadade konstruktioner av armerad betong. I rapporten beskrivs utrustningen och hur metoden fungerar. Exempel på nyligen utförda vattenbilningsprojekt rapporteras. Bilningsmotståndet i olika betongtyper diskuteras, metodens för- och nackdelar, kapaciteter och kostnader samt utvecklingsmöjligheter.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R95:1989

ISBN 91-540-5106-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989

INNEHÅLL

| | |
|---|----|
| FÖRORD | 5 |
| 1. INLEDNING | 7 |
| 1.1 Bilningsmetoder | 8 |
| 1.2 Vattenbilning | 9 |
| 1.3 Vidhäftning vid pågjutning | 10 |
| 2. UTVECKLING AV EN METOD FÖR YTBILNING AV BETONG | 11 |
| 2.1 Bakgrund | 11 |
| 2.2 Uppläggning av ett första utvecklingssteg | 11 |
| 2.3 Driftserfarenheter från vattenbilning av brobanaplattor 1984-1985 | 15 |
| 2.4 Teknisk uppbyggnad av vattenbilningsutrustning | 17 |
| 2.5 Jämförelse med importerad vattenbilningsutrustning | 22 |
| 2.6 Vattenbilning av vertikala ytor och tak | 23 |
| 3. AVVERKNINGSMEKANISM | 29 |
| 3.1 Skärning med vattenstråle | 29 |
| 3.2 Processbeskrivning | 29 |
| 3.3 Bilning av betong med kontinuerlig stråle | 30 |
| 3.4 Strukturen hos en höghastighets vattenstråle i luft | 31 |
| 3.5 Funktion vid vattenbilning i betong | 33 |
| 3.6 Brottförlopp vid vattenbilning | 34 |
| 3.7 Styrbarheter | 35 |
| 4. ERFARENHETER | 36 |
| 4.1 Vattenbilning av horisontella ytor | 36 |
| 4.2 Vattenbilning av vertikala ytor | 39 |
| 4.21 Väggar i reningsverk | 39 |
| 4.22 Silovägg | 40 |
| 4.23 Bropelare | 41 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.3 | Vattenbilning av tak och sneda ytor | 44 |
| 4.4 | Vattenbilning av asfaltbeläggning | 46 |
| 4.5 | Djupbilning. Håltagning i betongpelare | 48 |
| 4.51 | Betongen i pelarna | 48 |
| 4.52 | Djupbilning av ursparing | 51 |
| 4.53 | Maskinutrustning | 53 |
| 4.54 | Resultat | 54 |
| 4.55 | Kapacitet | 58 |
| 4.6 | Yttvättning och uppbyggnad av sprickor | 59 |
| 4.61 | Konstruktion | 59 |
| 4.62 | Yttvättning | 60 |
| 4.63 | Uppbyggnad av sprickor | 61 |
| 4.64 | Reparation | 63 |
| 5. | BILNINGSMOTSTÅND | 64 |
| 5.1 | Inverkan av sprickor och betongens permeabilitet | 64 |
| 5.2 | Inverkan av klorider | 65 |
| 5.3 | Inverkan av karbonatisering | 66 |
| 5.4 | Sammanfattning | 67 |
| 6. | FÖR- OCH NACKDELAR | 68 |
| 6.1 | Bättre arbetsmiljö | 68 |
| 6.2 | Bättre resultat | 69 |
| 6.3 | Tidsbesparing | 69 |
| 6.4 | Nackdelar | 70 |
| 7. | KAPACITETER OCH KOSTNADER | 71 |
| 7.1 | Kapaciteter | 71 |
| 7.2 | Kostnader | 72 |
| 8. | UTVECKLINGSMÖJLIGHETER | 73 |
| 8.1 | Maskinutveckling | 73 |
| 8.2 | Nya användningsområden | 74 |
| 8.2 | Vattenskarning med slipmedel | 75 |
| 8.31 | Aquabrasive-metoden | 77 |
| | REFERENSER | 80 |

FÖRORD

Rapporten behandlar den av ABV, numera NCC, och Atlas Copco i Sverige introducerade metoden för bilning i betong med hjälp av högtrycksvattenstråle. Metod och utrustning är framtagen i samarbete men tillverkas av Atlas Copco. I samverkan med Statens vägverk har arbetsteknik och utrustning anpassats för att uppfylla byggherrens krav på bl a färdigbilad yta som ger hög vidhäftning vid pågjutning.

Utrustningen utvecklades ursprungligen för bortbilning av skadad betong på horisontella ytor såsom brobaneplattor, parkeringsdäck, kajdäck, industrigolv m m. Efter hand kompletterades utrustningen med tillbehör som möjliggjorde bilning av vertikala ytor såsom väggar i reningsverk, bropelare m m. Det är i dag möjligt att vattenbila många andra tillämpningar även i andra vinklar. En ständig utveckling pågår av tillbehör och arbetsteknik.

Rapporten vänder sig till konstruktörer och byggherrar/förvaltare vilka har att fatta beslut i frågor rörande reparation av skadade konstruktioner av armerad betong. I rapporten beskrivs utrustningen och hur metoden fungerar. Exempel på nyligen utförda vattenbilningsprojekt rapporteras. Bilningsmotståndet i olika betongtyper diskuteras, metodens för- och nackdelar, kapaciteter och kostnader samt utvecklingsmöjligheter.

Projektet initierades av dåvarande ABV och startade 1983 med Alf Öinert, ABV som projektledare. Sedan han slutade sin anställning 1985 var forskningsprojektet vilande till 1987 då undertecknad övertog projektledarskapet.

I projektets inledningsskede samverkade personal från dåvarande ABV, numera NCC, Atlas Copco och Statens vägverk i arbetsgrupper. Från ABV medverkade Rolf Hörnfeldt, Göte Johansson, Thomas Overödder och Alf Öinert, från Atlas Copco Stig Delaryd, Carl Strömdahl och Jan Bjerngren, och från Statens vägverk Hans Ingvarsson och Bror Wuopio.

Författaren har inhämtat praktiska synpunkter och gjort uppföljningar av vattenbilningar på olika arbetsplatser. Härvid har ett givande samarbete ägt rum med Göte Johansson och Lennart Rosenqvist, NCC, Malmö samt Thomas Åberg, NCC, Stockholm, de förra med ansvar för NCCs vattenbilningar i Sydsverige och den senare för Mellansverige och Norrland.

Lars-Göran Nilsson och Carl Strömdahl vid Atlas Copco har läst manuskriptet och gett synpunkter och sakuppgifter. Till alla som i olika skeden av arbetet medverkat till projektets genomförande riktas ett varmt tack.

Malmö i juni 1989

Ingvar Nilsson

1. INLEDNING

Många broar och parkeringsdäck av armerad betong i framför allt Nordeuropa och Nordamerika är i behov av reparation på grund av betongskador och armeringskorrosion. Man räknar med att det finns drygt en miljon betongbroar i den industrialiserade delen av världen. Bort emot hälften av dessa uppskattas vara i behov av någon form av reparation inom en nära framtid.

Det är känt att åtskilliga svenska broars betongfärbarnor har skador. Flera faktorer påverkar betongen och ger upphov till skador i såväl betongdäck som i andra delar av brokonstruktionen. En huvudorsak är användningen av vägsalt som tillsammans med upprepad fryshet och tining kan ge betongskador. Andra bidragande faktorer är föroreningar i luft och nederbörd samt betongens karbonatisering vilka leder till armeringskorrosion med påföljd att betongtäcks-skikten sprängs loss. Stora trafiklastar medför ett hårt utnyttjande av konstruktionerna. Alla dessa faktorer samverkar i en nedbrytningsprocess. Det finns då snart synliga skador i betongkonstruktionen.

De flesta specifikationer över reparationsarbeten kräver att all "dålig" betong och även viss "frisk" betong skall avlägsnas, vanligen till i nivå med armeringens överkant. Bilningen skall ha kanter vinkelräta betongytan. Lagningen utförs sedan med betong.

Förutom brobanepplattor och parkeringsdäck finns behov av bilningsrensning av många andra konstruktioner såsom betongvägar, betongytor på flygplatser, kajer och betongdäck i särskilt utsatt sur industrimiljö.

Det finns även behov av bilningsrensning av vertikala ytor. Så utsätts t ex bropelare och tunnelväggar för saltstänk högt upp och saltlösning rinner ner längs

konstruktionen under marknivå. Bassängväggar i re-
ningsverk skadas på kort tid och behöver repareras.
Tillämpningar finns snart inom alla typer av betong-
konstruktioner.

1.1 Bilningsmetoder

Den metod och utrustning som man hittills har använt
för att ta bort skadad betong är den tryckluftsdrevena
bilningshammaren. Den har emellertid sina begränsning-
ar och nackdelar, se fig 1.1. Det är framför allt
svårt att på kort tid åstadkomma en borttagning av en-
bart den skadade betongen. Resultatet av bilningen be-
ror i hög grad av personen som utför arbetet. Det är
ansträngande och går långsamt. Bilningen skadar van-
ligen armeringen som blir deformerad. Vibrationerna
skadar vidhäftningen mellan armering och betong i an-
gränsande konstruktionsdelar som inte skall bortbilas,
vilket påverkar konstruktionens bärförmåga. Dammbild-
ning och hög ljudnivå medför även obehag och irrita-
tion för omgivningen.

PROBLEM VID ANVÄNDNING AV BILNINGSMASKINER



- MOTSTÅND FRÅN OPERATÖREN
VIT HAND P.G.A. VIBRATIONER

- BILNING FÖRSTÖR ARMERINGEN
- GENOM SLAGMÄRKEN
- GENOM ATT VIBRATIONER ÖVERFÖRS
MELLAN ARMERING OCH BETONG VARVID
MIKROSPRICKOR UPPSTÅR SOM
SKADAR VIDHÄFTNINGEN OCH
MINSKAR BÄRFÖRMÅGAN



- SVÅRT ATT BEDÖMA
NÄR MAN KOMMIT NED PÅ "RÄTT DJUP"
DÄR KLORIDHALTEN T.EX. UNDERSTIGER 0,5%

Fig 1.1 Problem vid användning av tryckluftsdrevena bilningsmaskiner.

Andra metoder som förekommer är flamrensning, mekanisk bearbetning av betongytor med fräs- eller slipmaskiner och försiktig sprängning.

1.2 Vattenbilning

Vilka krav skall man då ställa på en bra bilningsmetod? Metoden skall klara att ta bort all skadad betong och endast något av den friska betongen dvs ge en automatisk selektiv borttagning.

Vattenbilningsmetoden introducerades framgångsrikt i Sverige 1984 för borttagning av betong efter ett utvecklingsarbete i samarbete mellan dåvarande byggen-treprenadföretaget ABV, entreprenadmaskintillverkaren Atlas Copco och Statens vägverk. Metoden ger resultat som kvalitetsmässigt är helt överlägset andra bilningsmetoder.

Vattenbilning är många gånger snabbare än konventionell handbilning. Vid t ex broreparationer har detta fördelen att erforderlig tid för trafikomläggning blir kortare.

Motsvarande förhållande gäller för alla betongkonstruktioner som måste tas ur bruk för reparation. Det finns alltid önskemål om att den tid som konstruktionen måste hållas avstängd hålls så kort som möjligt.

Vattenbilning är helt dammfri och vibrationsfri. Ljudnivån är visserligen 74 dB 7 m från containern och 93 dB 7 m från roboten vilket kan jämföras med 103 dB för handhållen bilningshammare. Vattenbilning ger däremot inga stomljud och därför fås en lugnare ljudupplevelse och störningarna på omgivningen blir begränsade. Vattenbilning medför en god arbetsmiljö för operatören.

1.3 Vidhäftning vid påggjutning

Vid varje reparation avlägsnas det skadade ytskiktet och ersätts med ny betong. God vidhäftning mellan gammal betong och påggjutning är en förutsättning för att konstruktionens bärförmåga skall bli lika hög som den ursprungliga konstruktionens.

Vidhäftningen mellan gammal betong och påggjutningar har blivit föremål för åtskilliga studier. Ett exempel på ett ofta behandlat fall är samverkan mellan prefabricerade bjälklagselement och tunna påggjutningar. Detta har studerats av åtskilliga forskare, bl a Kent Gustavsson, som i [1] även ger en omfattande litteraturförteckning.

En rå fogyta anses ha bättre vidhäftningsegenskaper än en slät, vilket även påvisats genom försök. Med vattenbilning fås en ren yta med mycket stor råhet, ännu större än vid handbilning. Vattenbilning ger dessutom inte några mikrosprickor i den kvarvarande betongen. Man åstadkommer alltså en yta med förutsättningar att efter noggrann rengöring ge stor vidhäftningsförmåga för betongggjutningen.

Vidhäftnings- och samverkansförmågan hos påggjutningar på vattenbilade betongytor har studerats av Johan Silfwerbrand [2], [3], [4], [5]. Hans utförda belastningsförsök på samverkansplattor av gammal betong och påggjuten betong med en sådan fogyta visar att man kan uppnå lika stor brottlast som med motsvarande homogena betongplatta.

2. UTVECKLING AV EN METOD FÖR YTBILNING AV BETONG

2.1 Bakgrund

Skärning av olika material med en vattenstråle av extremt högt tryck är en ny teknik som under senare år har kommit till användning för skärning av olika material såsom trä, glasfiber, tyger, läder, plast, gummi m m. Tekniken har också använts vid tunnelborrning, kolbrytning och vid rengöring av maskindelar [6].

Metodens princip är i korthet den att vatten pressas genom ett smalt munstycke under ett tryck av upp till 4000 bar varvid det bildas en stråle med enorm hastighet som kan användas vid materialbearbetning.

Förutsättningarna för att bila eller skära i armerad betong med högtrycksvattenstrålen har studerats av Alf Öinert. Förstudien "Högtrycksvattenstrålens möjligheter och begränsningar inom byggnadsindustrin" [7] är en litteraturstudie av framför allt utländska rapporter som sammanfattar kunskapsläget 1982.

2.2 Uppläggning av ett första utvecklingssteg

Under 1983 tog dåvarande ABV initiativ till ett utvecklingsarbete på temat vattenbilning av betong. Kontakter togs med maskintillverkaren Atlas Copco, som parallellt med ABV studerade temat och där man var intresserad av att ta fram en lämplig maskinutrustning. I ett första utvecklingssteg sattes målet upp att ta fram utrustning för bortbilning av skadad betong från horisontella betongytor såsom

- broar
- parkeringsdäck
- kajer
- flygfält.

Faktorer med maskinteknisk anknytning som härvid måste beaktas var bl a:

- vattentryck
- vattenmängd
- strålmunstyckets diameter
- strålmunstyckets vinkel mot ytan och dess rörelse
- avverkningsdjup
- kapacitet m^2/tim
- sortering av dålig och frisk betong
- resultat i övrigt
- arbetarskydd: återaktivering, sprutskydd, buller, slangbrott m m



Fig 2.1 Samarbetsgrupper med representanter från Atlas Copco, ABV och Statens vägverk utarbetade kravspecifikationer på maskinenheten och på erforderliga resultat.

För att så fullständigt som möjligt söka beakta entreprenörens, byggherrens och maskintillverkarens synpunkter bildades två arbetsgrupper med representanter från ABV, Statens vägverk och Atlas Copco. Den ena arbetsgruppens uppgift var att formulera en kravspecifikation på färdigbilad betongyta och den andra arbetsgruppens att formulera en kravspecifikation på maskinenheten. Efter hand skulle erfarenheter från praktiskt bruk utvärderas vad bl a avser:

- kundens krav på resultat
- bedömning av metoden vid variation av olika parametrar
- kapacitet
- kostnader jämfört med andra metoder
- precision vad gäller borttagning av dålig betong.

Kravspecifikation på färdigbilad betongyta

Krav på kvarblivande frisk betong vid vattenbilning enligt Vägverkets fordringar:

Alt I Betongens tryckhållfasthet (K_o) skall vara minst 30 MPa. (Gäller äldre broar.)

Alt II Betongens tryckhållfasthet (K_o) skall vara minst 40 MPa. (Gäller nyare broar samt äldre broar som kan klassas upp.)

- a) Betongen skall vara okulärt "frisk". Vid bilning går även ballasten sönder.
- b) Koncentrationen av kloridjoner skall vara mindre än 0,5 viktsprocent relativt cementhalten. (Egentligen ekv. $\text{CaCl}_2 \leq 0,5$ viktsprocent.)

Erfarenhetsmässigt klaras ovanstående kriterium då $f_{ct}/f_{cc} << 0.08$

f_{ct} = betongens draghållfasthet

f_{cc} = betongens tryckhållfasthet

- c) För en borrarad cylinder $\varnothing 100$ mm, höjd 100 mm skall gälla:

$f_{cc} \varnothing 100 > 0,8 K_0$

För alt I fås: 24 MPa

" " II " : 32 MPa

- d) $f_{ct, spräck} > 0,08 \times 0,8 K_0$

Detta ger för alt I: 2,0 MPa

" " " " II: 2,5 MPa

Detta är det väsentligaste kravet tillsammans med punkt a).

- e) Betongytans skrovlighet skall motsvara handbilad yta.
- f) Partier som är "släta", dvs saknar skrovlighet skall vara mindre än $1,0 \text{ m}^2$.
- g) pH-värdet skall vara större än 9, dvs betongen skall ej vara karbonatiserad.

Kravspecifikation på kapacitet för arbetsenhet och kraftenhet

- a) En brobanehälft av en genomsnittlig småbro (en körriktning, ca $100-150 \text{ m}^2$) bör hinna vattenbilas under en arbetsvecka inberäknat etablering och avetablering. Aktiv arbetstid för vattenbilningsenheten blir då ca 16 tim och kapacitetsbehovet $10 \text{ m}^2/\text{tim}$.

- b) Vattenförbrukningen bör helst inte vara större än att det räcker med 1-2 normala tankbilssläp à 16 m³ per arbetsskift. Havsvatten får ej användas.
- c) En filbredd bör kunna täckas i 2-3 operationer.
- d) Det skall gå att vattenbila nära kanter.

Sortering dålig-frisk betong

- Skall man med säkerhet bila bort all dålig betong, "köra hårt", eller skall man gå försiktigt fram med risk att partier med ej helt frisk betong lämnas kvar?
- Kan vattenbilningsmetoden göras tillräckligt selektiv, dvs ta bort all dålig betong och lämna kvar enbart frisk betong?

2.3 Driftserfarenheter från vattenbilning av brobaneplattor 1984-1985

I början av 1984 satte ABV den första Conjet-utrustningen i kommersiell drift på en betongbro i Stockholms skärgård [8], [9]. Under detta år vattenbilades 14 betongbroar, totalt 4.900 m². Härav hänför sig 1.400 m² till Djuröbron. Medelstorleken på de övriga broarna var ca 270 m².

| | | |
|-----------------|----------|----------------------|
| Avverkningsdjup | 0-4,5 cm | 3.500 m ² |
| " | 0-7,5 cm | 1.400 m ² |

Erfarenheterna från detta första verksamhetsår kan sammanfattas:

1. God planering av arbetet är viktig.
2. Det erfordras nära tekniskt samarbete mellan entreprenör, beställare och konstruktör för att kunna fatta snabba beslut under pågående vattenbilning när t ex skadans omfattning befinns vara större än väntat.
3. Vid minusgrader är det olämpligt att vattenbila på grund av att det lätt uppstår isgata runt arbetsplatsen. Vatten som pressas in i betongen kan orsaka sönderfrysning. Problemet kan kringgås t ex genom uppvärmning under tält.
4. Kapaciteten var vid avverkningsdjup 30–35 mm ca 8 m²/tim.

Under 1985 sattes andra generationens Conjet-maskiner i praktiskt bruk. Under detta år vattenbilade ABV 10.000 m² brobaneytor i Sverige

| | | |
|--------------------------|----------|----------------------|
| Ytfräsning | | 1.500 m ² |
| Avverkningsdjup 0–4,5 cm | | 7.500 m ² |
| " | 0–7,5 cm | 550 m ² |
| " | >7,5 cm | 450 m ² |

Samtidigt introducerade Jet Away Corp i Seattle, USA, i vilket ABV hade intressen, vattenbilningstekniken med den av Atlas Copco byggda Conjet-utrustningen. En undersökning av vattenbilningsmetod och reparations-teknik utfördes 1985 av S Tayabji vid PCA i Skokie, USA [10]. Ett sammandrag publicerade han 1986 i Concrete International [11].

2.4 Teknisk uppbyggnad av vattenbilningsutrustning

Utrustningen för vattenbilning består av två enheter, en kraftenhet med högtryckspump och en hjulburen robot som utför själva bilningsarbetet. Utrustningen tillverkas av Atlas Copco och marknadsförs under namnet Conjet [12], [13].

Kraftenheten är inbyggd i en 20-fots container som är ljud- och värmeisolerad. Den placeras antingen på ett lastbilssläp eller i närheten av bilningsstället.

Containern innehåller förutom en dieselmotor och högtryckspump även vattentank, vattenfilter och övervakningsutrustning.

Data för kraftenheten

| | |
|-------------------|---|
| Vikt av container | 8350 kg |
| Dimensioner | 6,0 x 2,4 x 2,4 m (20' x 8' x 8') |
| Högtryckspump | 380 kW Hammelman. Kolvtyp 3 cyl. |
| Drivkälla | 270 kW Volvo Diesel alt 300 kW Caterpillar |
| Pumptryck | max 1200 bar |
| Elförsörjning | 3-fas växelström 25 A |
| Vattentank | 4000 l |
| Vattenförsörjning | Eldriven matarpump med grovfilter. Vatten tillförs vanligen från tankbil eller brandpost. |
| Vattenförbrukning | 100 l/min eller ca 4,5 m ³ /tim under drift med normala avbrott. |
| Kapacitet | 7-12 m ² /tim vid ca 30 mm avverkningdjup på horisontella ytor beroende på betongkvalitet. |

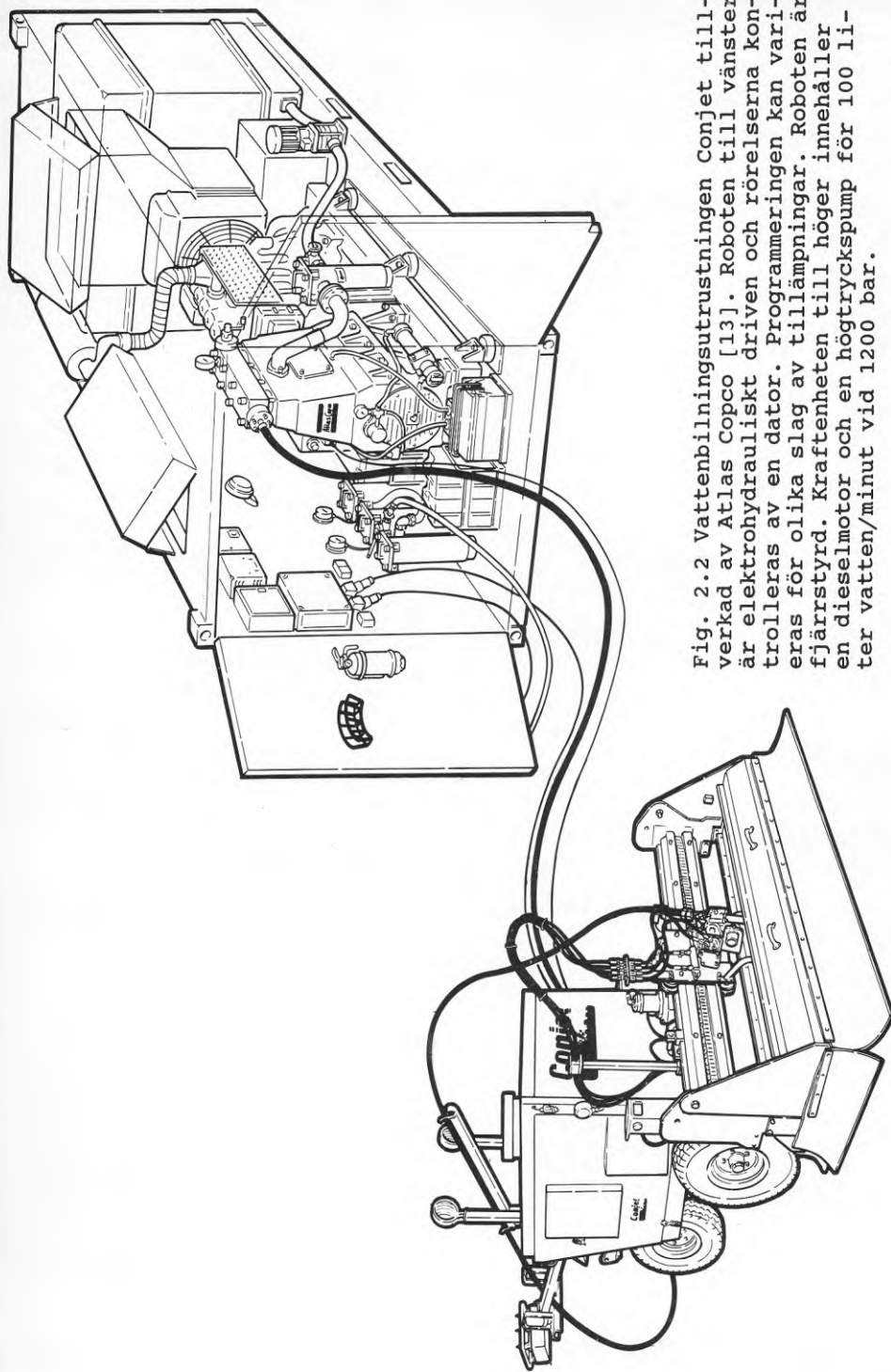


Fig. 2.2 Vattenbilningsutrustningen Conjet tillverkad av Atlas Copco [13]. Roboten till vänster är elektrohydrauliskt driven och rörelserna kontrolleras av en dator. Programmeringen kan varieras för olika slag av tillämpningar. Roboten är fjärrstyrd. Kraftenheten till höger innehåller en dieselmotor och en högtryckspump för 100 liter vatten/minut vid 1200 bar.

Vattensystemet

Vatten levereras till pumpenheten vanligen från tankbil eller brandpost. Vid intaget filtreras vattnet i två steg och lagras därefter i en tank om 4 m³. Därifrån pumpas det vidare med en matarpump och passerar ytterligare ett filter innan det trycks in i högtryckspumpen. Här får vattnet sitt normala arbetstryck om 1100 bar, reglerbart 0-1200 bar. Det leds med detta höga tryck genom en högtrycksslang fram till arbetsenhetens munstycke. Högtryckspumpen drivs av en dieselmotor som med sin utrustning är installerad i containern.

Det finaste vattenfiltret har en maskvidd av 0.001 mm. Det innebär att det är möjligt att använda vatten från t ex vattendrag. Man undviker emellertid ändå detta för att inte riskera att få in några som helst föroreningar i den vattenbilade betongen. Det är helt olämpligt att använda havsvatten för vattenbilning eftersom man då tillför klorider till den vattenbilade betongen.

Roboten

Arbetsenheten, den s k roboten, är uppbyggd på ett tre-hjuligt ramverk. Längst fram sitter matarbalken, som har en kraftig skyddskåpa över släde och kassett med munstycke. Matningen är kedjedriven och har ställbara gränslägesgivare i båda ändar som reglerar avverkningsbredden. Med ett enkelt handgrepp kan man ställa in önskad avverkningsbredd, i standardutförande upp till 1,8 m. Munstycket för vattenstrålen är monterat på matarbalkens släde. Vattenförsörjning från pumpenheten sker via en 2 x 40 m lång högtrycksslang.

På roboten sitter manöverreglage för inställning av olika arbetsfunktioner. Genom att ställa in arbetstryck, skärhastighet, slaglängd och val av program kan arbetsprocessen styras helt automatiskt. Programmet styr rörelsen mellan varje arbetsslag. Processen hålls igång genom att den återaktiveras var annan minut av säkerhetsskäl. På roboten sitter motorn till drivhjul och styrcylindern. Där finns även det elmotordrivna hydraulpaketet samt robotens ventilpaket med en ventil för varje funktion.

Roboten fjärrmanövreras av operatören vid en bärbar manöverpanel som är ansluten till roboten med en 10 m lång kabel. Från denna övervakas den datorstyrda bilningsprocessen. En signal från roboten var annan minut ger operatören besked om att han skall återaktivera arbetsprogrammets automatik. Gör han inte det stannar maskinen, vilket är en väsentlig säkerhetsfunktion. Andra funktioner i kontrollpanelen utgörs bl a av manöverorgan för robotens åkrörelse och styrning.

Data för roboten

| | |
|------------------|-------------------------------|
| Vikt | 850 kg |
| Längd | 2,6 m |
| Bredd | 2,05 m |
| Avverkningsbredd | max 1,8 m i standardutförande |

Avverkningsprocessen

Operatören startar upp utrustningen genom att starta dieselmotorn som driver högtryckspumpen samt starta elmotorn som driver robotens hydraulaggregat. Från den bärbara manöverpanelen kontrolleras hela processen. Operatören kör fram arbetsenheten till den yta som skall avverkas. Han ställer en strömbrytare i läge "automatik" och trycker på startknappen. Dieselmotorn går nu upp i varv varvid trycket ökar i systemet. Mataren för munstycket över ytan varvid högtrycksstrålen

bilar bort betong längs ett spår, i senaste maskinutförande sker bilningen vid en oscillerande rörelse, se avsnitt 8.1. Under returslaget flyttar sig arbetsenheten automatiskt en bestämd sträcka. Denna är inprogrammerad till ett värde mellan 5 och 45 mm. Arbetslaget upprepas därefter, betongen bryts upp mot det först bilade spåret osv.

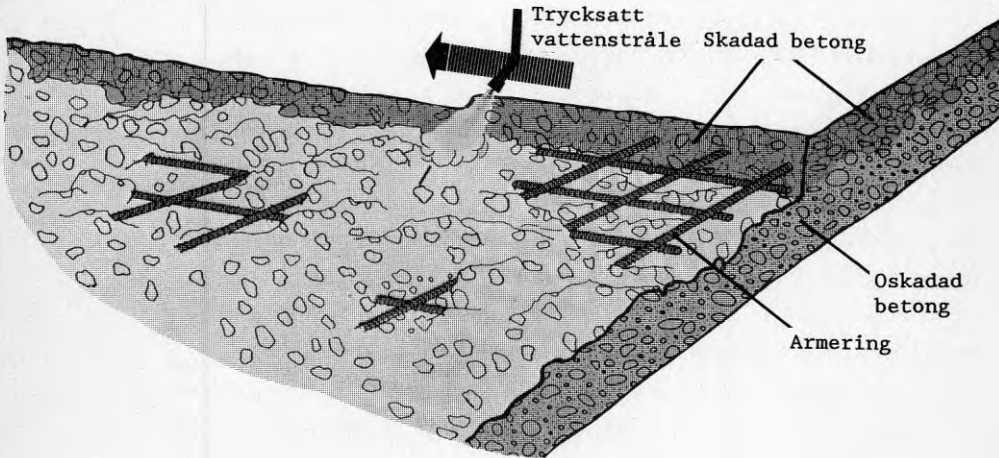


Fig 2.3. Mataren för högtrycksvattenstrålens munstycke tvärs den skadade betongytan medan strålen skär ett spår i ytan. Medan munstycket återgår till sin startposition rör sig arbetsenheten framåt en förut vald sträcka. All skadad betong mellan spåren avlägsnas ner till en nivå av frisk, oskadad betong, samtidigt som de exponerade armeringsstängerna rengörs från rost och betongrester.

Provyta

På arbetsplatsen förbereds vattenbilningen genom att man först avverkar en mindre provyta som därefter kontrolleras. Om resultatet är tillfredsställande fortsätter sedan vattenbilningen med samma inställning. Om inte, ökas eller minskas steglängden och/eller skärhastigheten.

Ökning av skärhastighet eller steglängd minskar avverkningsdjupet och ökar ytkapaciteten.

2.5 Jämförelse med importerad vattenbilningsutrustning

På den svenska marknaden förekommer ett par andra maskiner för vattenbilning. De kan sägas vara prototyper eller hemmabyggen med standardkomponenter och har likheter med Atlas Copcos Conjet.

En italiensktillverkad maskin FIP V-03 tillverkad av FIP Industriale S.p.A i Padova har däremot tekniska data och prestanda som motiverar en jämförelse med Conjet. Utrustningen består av pumpenhet och manöverenhet monterade på ett lastbilschassi samt filter- och generatorenhet monterat på ett lastbilssläp. Bilningsenheten påminner om Atlas Copcos Conjet och transporteras i en container.

Tekniska data för FIP V-03

| | |
|-------------------|---|
| Högtryckspump | 2x380 kW Hammelman. Kolvtyp 3-cyl |
| Drivkälla | 2 st Caterpillar Diesel à 375 kW |
| Pumptryck | 700-900 bar |
| Elförsörjning | Eget generatoraggregat |
| Vattenförsörjning | Eldriven matarpump med grov- och finfilter. Eget reningsverk. Vattnen kan tagas direkt från vattendrag. |
| Vattenförbrukning | Ca 12 m ³ /h |
| Kapacitet | 10-18 m ² /h vid 30 mm avverkning, beroende på betongkvalitet. |

Arbetsenheten är fjärrmanövrerad. Munstycket rör sig i ett zick-zackmönster vinkelrätt mot arbetsenhetens rörelseriktning. Framflyttning ca 0.1 m sker stegvis efter avslutad sidorörelse.

Jämförelse med Conjet

FIP V-03 är konstruerad för en högre avverkningskapacitet än Conjet. Dess vattenförbrukning är 3-4 gånger större men den arbetar med ett något lägre pumptryck [14]. Vattenförbrukningen kräver ett transportabelt vattenreningsverk.

Maskinens drivkälla är en dieselmotor med dubbelt så hög effekt som Conjet och den har 2 högtryckspumpar av samma slag som Conjet har en av. Dessa olikheter är en väsentlig orsak till att FIP V-03 har högre avverkningskapacitet än Conjet. De förklarar också den avsevärda skillnaden i inköpspris.

Med Conjet kan man emellertid genom att parallellkoppla 2 st krafterheter nå en avverkningskapacitet som motsvarar den hos FIP V-03. Vattenflödet genom bilningsmunstycket fördubblas då i stort sett vid ungefär konstant pumptryck. Bilningskapaciteten förhöjs härvid avsevärt. En Conjet robot med två krafterheter är tekniskt och kapacitetsmässigt jämförbar med en FIP V-03.

2.6 Vattenbilning av vertikala ytor och tak

Inom projektet vattenbilning togs hösten 1984 ett andra utvecklingssteg genom att arbeten inleddes för att möjliggöra avverkning på i första hand vertikala ytor men även underifrån-upp och ytor i godtycklig vinkel. Problem att lösa var härvid

- val av typ av bärare för vattenbilningsenheten,
- kontroll av olika betong- och strålparametrars inverkan vid andra bilningsvinklar än horisontella ytor.

Vattenbilning av vertikala ytor

Hos de konstruktioner där horisontella ytor vattenbilas finns ofta även behov av att bila vertikala ytor eller ytor med andra vinklar. Skadad eller spjälad betong kan behöva avlägsnas på t ex stödmurar, bro-landfästen, frontmurar, väggar i parkeringshus m m.

Vid bilning från golvnivå och uppåt med max bilningsbredd 1,8 m kan användas ett arrangemang enligt fig 2.4. Matarbalken har här monterats vertikalt på en utdragbar balk. Väggen får luta -48 till +35 grader.

I fig 2.5 har matarbalken monterats för "utvändig" vertikal bilning. Uppställningen används på t ex kajmurars och brobanekantbalkars utsidor.

Tekniska data:

| | |
|------------------|------------------------------------|
| Vinkelvariation | -20° till +35° eller -48° till +2° |
| Utdragsbalk | max 1000 mm |
| Avverkningsbredd | max 1,8 m |

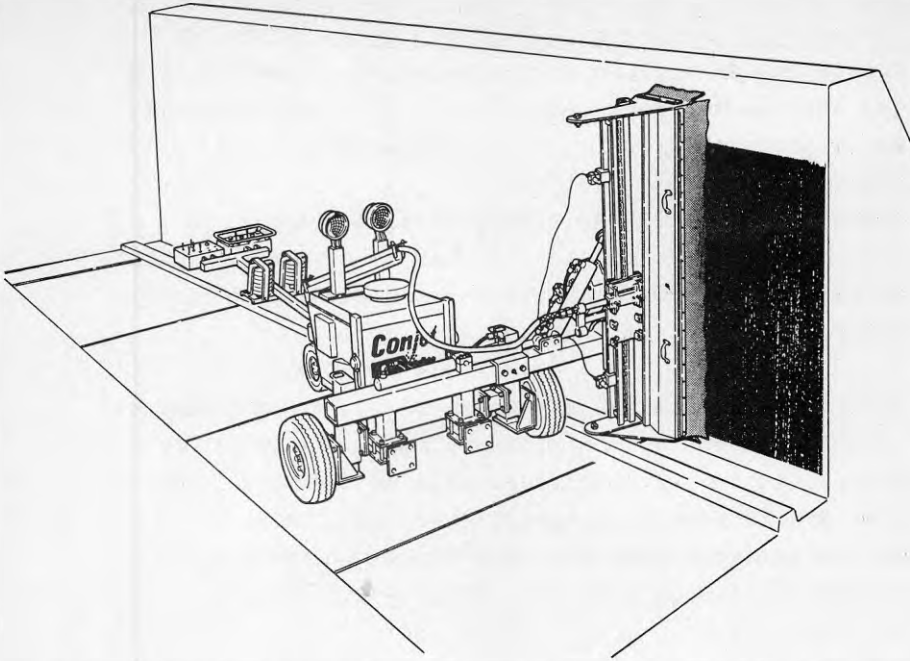


Fig 2.4 Vertikal vattenbilning av vägg. Max bilningsbredd 1,8 m.



Fig 2.5. Utrustningen monterad för "utvändig" vertikal bilning. Används på kajmurars och brobanekantbalkars utsida.

För vertikalbilning till större höjd har inom ABV framtagits en utrustning där avverkningsenheten arbetar från en fackverksmast, se fig 2.6. Den består av följande huvuddelar.

Bottenram med hjul för sidoförflyttning samt med ställbara stödben som används när maskinen är i drift. På bottenramen monteras mastdelar om 1,5 m längd till erforderlig höjd för det aktuella objektet.

Runt masten sitter en gejderram på vilken robotens avverkningsenhet, hydraulaggregat och mikrodator för processtyrning är monterade. Höjning sker med hjälp av en hydrauldriven snäckväxel. Överföring av kraften till hiss masten sker via kuggstång. Fininställning av avstånd till vägg sker med hjälp av hydrauler.

Robotens vattenbilningsmunstycke försörjes med vatten via en högtrycksslang från kraftenhetens högtryckspump.

Robotens driv- och styrenheter får elkraft via kraftenheten. Roboten har ett eldrivet hydraulaggregat, som via hydraulmotorer driver högtrycksmunstycke och höjdinställning.

Från den bärbara manöverlådan kan såväl högtryckspump som robot styras.

Arbetsområde:

Utrustningen är avsedd för vattenbilning och rensning av stora vertikala ytor såsom bassängväggar i reningsverk, siloväggar, väggar i tunnlar osv. Arrangemanget användes exempelvis vid vattenbilning på Ölandsbrons pelare 1986 [15].

Tekniska data:

| | |
|--|---------------------------|
| Matarbalkens längd | 2.500 mm |
| Avverkningsbredd | 2.100 mm |
| Avverkningshöjd utan stagning | 0-5 m |
| Avverkningskapacitet vid bilad vägghöjd min 3 m | 15-20 m ² /tim |

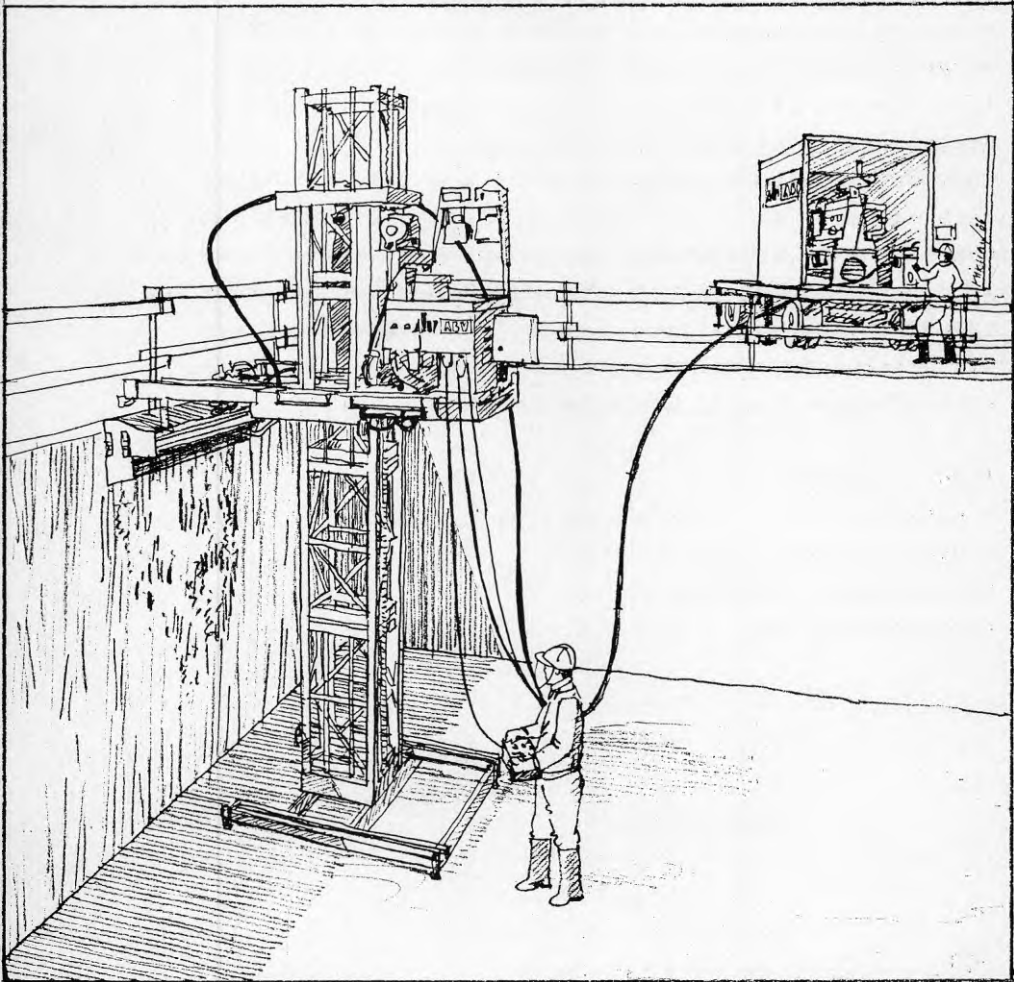


Fig 2.6 Vattenbilning av stora vertikala ytor från fackverksmast. 1. Kraftenhet 2. Högtryckspump 3. Högtrycksslang för vatten 4. Styrkablar 5. Manöverläda 6. Avverkningsenhet med högtrycksmunstycke 7. Hydrauler för avståndsställning till vägg 8. Styrenhet (dator) 9. Eldriven hydraulpump 10. Bottenram 11. Hydrauliskt driven snäckväxel för lyftning, sänkning och "stegning" 12. Hissmast med kuggstång.

Vattenbilning från kranarm

För vattenbilning på större höjd, på svåråtkomliga ställen, i ovanliga arbetsvinklar osv är det möjligt att montera avverkningsenheten från en Conjet robot på kranarmen till en brolift. Möjlig arbetshöjd begränsas då av kranarmens räckvidd. Ett sådant arrangemang beskrivs ingående i kapitel 4. En nackdel med detta är att det inte blir möjligt att utnyttja automatisk stegning utan matarbalken måste framflyttas manuellt efter hand genom att flytta kranarmen.

Vattenbilning av tak

Taktytor har alltid varit svårare och dyrare att reparera än golv. Genom att vattenbila eliminerar man det fysiskt hårda arbetet med handbilning underifrån. Maskinen förses med en tillsats så att den kan arbeta i takhöjd. Vattenbilningen sker med samma hastighet som vid bilning av golv. Maskinen justerar sig själv till rätt höjd och vinkel också om det behövs.

Tekniska data:

| | |
|--------------------|-----------|
| Minsta takhöjd | 2.450 mm |
| Största takhöjd | 4.450 mm |
| Matarbalkens längd | 2.050 mm |
| Avverkningsbredd | max 1,8 m |

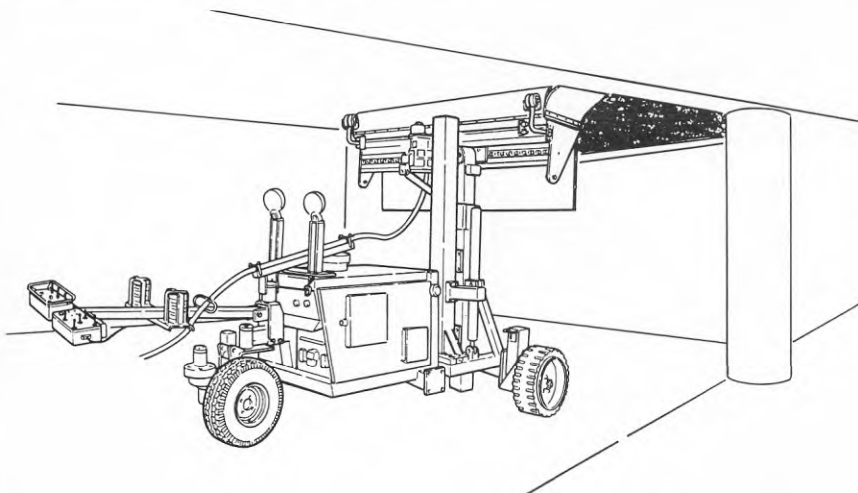


Fig 2.9 Matarbalken monterad för vattenbilning av tak.

3. AVVERKNINGSMEKANISM

3.1 Skärning med vattenstråle

Skärning med vattenstråle är en teknik som används inom industrin för skärning av olika material såsom mineralull, papper, trä, plaster m m samt vid tunnelborrning och kolbrytning. Mot slutet av 1960-talet fann man att vattenstrålen även var möjlig att använda för skärning och bilning i betong.

Principen är i korthet att vatten leds genom ett smalt munstycke under extremt högt tryck, upp till 4.000 bar beroende på tillämpningsområdet, varvid strålen kan användas för materialbearbetning.

I allmänhet används vatten som skärvätska. Det finns olika principer för skärning med vattenstråle, varvid vattenstrålen kan vara 1. kontinuerlig, 2. diskontinuerlig, 3. pulserande, 4. kaviterande.

Härtill kommer möjligheten att tillföra vattenstrålen fasta partiklar, såsom abrasiva tillsatser. Genom vattenstråleskärning med slipmedel är det möjligt att skära i vilket material som helst [16].

3.2 Processbeskrivning

För att kunna skära igenom ett material med en vätska måste den bilda en skärstråle, dvs vätskan måste tillföras en viss mängd kinetisk energi som kan överföras till materialet vid kollisionen [6].

Strålen uppstår genom att vätskan pressas genom en dysa och accelereras till hastigheter upp emot 2.000 m/sek. Tryckfallet är upp till 4.000 bar men kan vara ännu högre.

När skärvätskan kolliderar med ett material byggs det lokalt upp ett mycket högt dynamiskt tryck. Det maximala tryck p som en kontinuerlig stråle av en inkompressibel vätska genererar vid anslaget mot en stel yta kan tecknas

$$p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

där ρ = vätskans densitet

v = vätskans hastighet vid anslaget

3.3 Bilning av betong med kontinuerlig vattenstråle

Vid vattenbilning av betong används kontinuerlig stråle. Bilningen orsakas av strålens hydrodynamiska tryck. De faktorer som avgör resultatet vid vattenbilning av betong är vattenstrålens strömningsdynamik genom geometriska och kinetiska parametrar samt betongens materialegenskaper och struktur.

Nedan diskuteras först uppbyggnaden av en höghastighets vattenstråle i luft och sedan funktionen vid vattenbilning av betong och tillhörande brottförlopp.

3.4 Strukturen hos en höghastighets vattenstråle i luft

Två japanska forskare Yanaida och Ohashi har i [17], [18] och [19] teoretiskt och experimentellt behandlat uppbyggnaden av en höghastighets vattenstråle i luft ur hydrodynamisk synvinkel.

En cirkulär högtrycksvattenstråle för vattenbilning kan enligt fig 3.1 indelas i

- initialområde med strålkärna
- huvudområde
- slutområde med abrupt diffus spridning.

Strålen lämnar munstycket med en hastighet $v = v_0$ som är konstant över hela tvärsektionen. I strålens initialområde x_k blandar sig strålen med den omgivande luften och det börjar bildas en periferistråle innehållande fina vattendroppar. I initialområdet har själva strålkärnan hastigheten $v = v_0$ medan hastigheten avtar mot strålens periferi.

I huvudområdet börjar strålens hastighet att minska. Området börjar där hastigheten i strålens mitt börjar att understiga v_0 . Huvudområdet karakteriseras av att strålen har hastighetsdiagram vars form liknar en Gauss fördelningskurva.

Strålen börjar upplösas i huvudområdet där det kontinuerliga strålflödet övergår i droppflödesområdet.

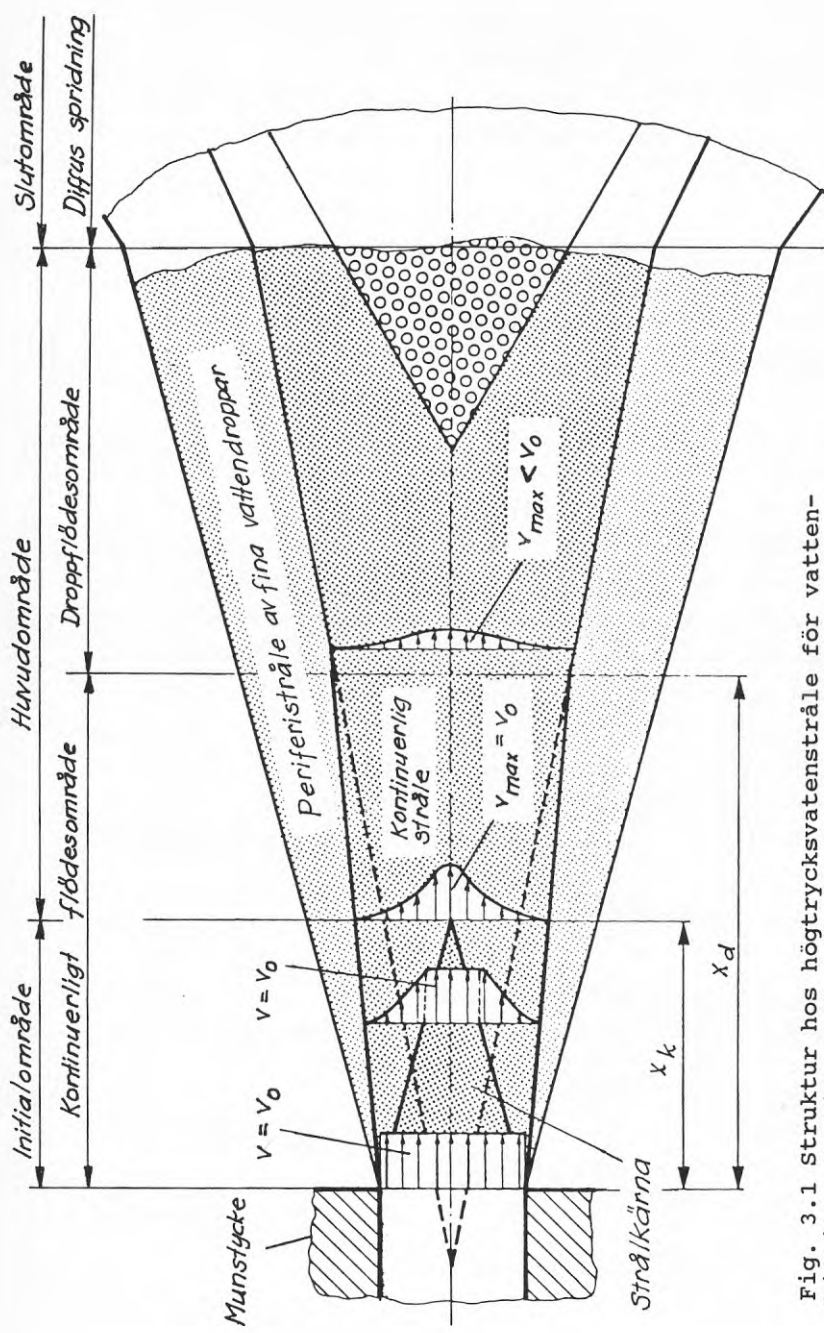


Fig. 3.1 Struktur hos högtrycksvattenstråle för vattenbilning. Hastighetsfördelning i olika sektioner hos en kontinuerlig vattenstråle [19], [20]. Figurens längdskala är kraftigt sammantryckt.

3.5 Funktion vid vattenbilning i betong

Möjligheten att använda vatten av mycket högt tryck för skärning eller håltagning i betong är känd sedan många år. Den form av vattenbilning som denna rapport i första hand skall behandla avser selektiv borttagning av ytskikt av betong, dvs bortbilning av skadad betong så att underliggande oskadad betong lämnas kvar intakt.

Betong är ett heterogent material som består av hård ballast, en mjukare sammanbindande cementmatris och porer. En högtrycksvattenstråle kan antingen leta sig fram mellan ballasten eller skära igenom såväl cementmatris som ballast. De tryck om 1.000–1.200 bar som används i praktiken är inte höga nog att skära igenom ballast av granit.

En stråle med konstant tryck avlägsnar en viss volym material per tidsenhet. Denna volym är en funktion av strålparametrar, betongens hållfasthet och egenskaper och betongytornas tillgänglighet. Försök med munstycksdiametrar mellan 1 och 2,5 mm visade att diametern har ett väsentligt inflytande på inträngningsdjupet [21]. Den större diametern gav en större inträngning.

Observationer av det lossbilade materialet visar att skilda stenar avlägsnas sedan den omgivande cementmatrisen spolats ur. I bilningsmassorna kan man även finna mindre betongstycken.

3.6 Brottförlopp vid vattenbilning

Vattnet pressas samman i munstycket till ett tryck av 1.000-1.200 bar och lämnar det med en hastighet av omkring 1.000 m/sek. Brottförloppet vid vattenbilning i betong skiljer sig från det vid vattenbilning i homogena material. När vattenstrålen träffar betongytan pressas det in i sprickor, håligheter och porer. Härvid uppstår ett inre vattentryck som ger fleraxiella påkänningar i betongen. Med sin hydrauliska kraft bryter vattnet loss enskilda ballaststenar och skadade spruckna betongfragment och kastar dem åt sidan. Vad som återstår är frisk betong med stor råhet.

Fleraxliga brottpåkänningar uppstår under vattenstrålen. Det kan antas att brott breder ut sig probabilistiskt i betongen till följd av dess inhomogena struktur. Strålens erosion av cementmatrisen och vattnets inträngning i sprickor och porutrymmen öppnar efter hand nya ytor och nya vattenfyllda håligheter. Detta leder till lokala brott och bortbilning när betongen under en viss tid står under ett inre hydrauliskt övertryck.

Denna förklaring visar att det inte endast är nivån på vattentrycket som är väsentligt för en lyckad vattenbilning utan även vattenflödet. För att få upp det inre hydrauliska övertrycket i lokala porer och sprickor över en area av meningsfull storlek erfordras ett lämpligt vattenflöde. Det kan innebära behov av en större munstycksdiameter vilket ger större effekt och inträngningsförmåga hos strålen vid konstant pumptryck.

Vattenstrålens inträngnings- och bilningsförmåga i olika material har undersökts av Reh binder [22]. Han fann att avgörande parametrar för strålens inträngning är materialets permeabilitet och kornstorlek. Ett poröst material som sandsten bryts lätt sönder av det inre vattentrycket medan ett material av tät karaktär är svårt att vattenbila.

Tillämpas denna kunskap på materialet betong kan man dra slutsatsen att betongens permeabilitet och ballastgradering har betydelse för bilningsförmågan. Permeabiliteten hänger samman med betongens homogenitet och vattencementtal, vct. Är betongen sprucken, krackelerad eller laminerad ökar bilningskapaciteten och avverkningsdjupet. Bilningsförmågan ökar vidare med minskande betonghållfasthet eller ökande vct.

3.7 Styrmöjligheter

Avverkningsdjupet kan påverkas genom att variera vattentrycket, vattenflödet (genom val av munstycksdiаметer), rörelsen och vinkeln hos strålmunstycket. Resultatet blir automatiskt ett selektivt avlägsnande av betongytan. Porös betong av dålig kvalitet avlägsnas och frisk betong lämnas kvar. Detta innebär också att det inte finns behov av någon detaljerad förundersökning av vilka delar av betongen som är skadade. Där emot är det viktigt att utföra testkörningar av små ytor varvid inställningar utprovas tills man på ett väl avvägt sätt uppnår önskvärt avverkningsresultat genom variation av

- vattentryck,
- munstyckshastighet, den hastighet som munstycket rör sig i sidled,
- stegningslängd, den framflyttning som arbetsenheten gör efter varje avslutad tvärgående rörelse med munstycket.

4. ERFARENHETER

Med hjälp av vattenbilning har NCC (ABV) under 5 år avverkat över 40.000 m² skadad betong. Bland konstruktionerna dominerar broar, reningsverk, silor, bropelare, garage, industrigolv, kajer och färjelägen. Erfarenheter från några olika typer av tillämpningar redovisas nedan i detta kapitel.

4.1 Vattenbilning av horisontella ytor

Bland de vanligaste tillämpningarna är vattenbilning av brobaneplattor. Sedan 1984 har ett stort antal brobaneplattor på småbroar fått sina täckskikt borttagna genom vattenbilning. Bland större broar där vattenbilning har kommit till användning kan nämnas Djuröbron, Bjurholmsbron och Överbodabron. Fig 4.11 visar vattenbilning av en brobaneplatta.

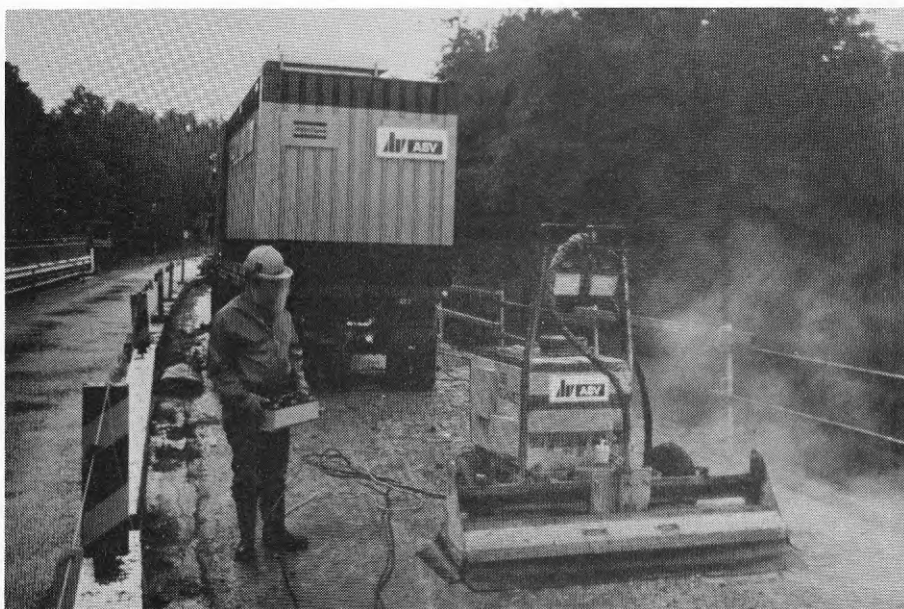


Fig 4.11 Vattenbilning av brobaneplatta på Djuröbron.

Efter avslutad vattenbilning samlas bilningsmassorna upp och fraktas bort. Mängden kan bli betydande. Därefter rengörs den bilade betongytan noggrant med högtrycksvatten. Denna rengöring är ytterst viktig. Alla lösa partiklar måste bort för att säkerställa vidhäftningen till pågjutningen.

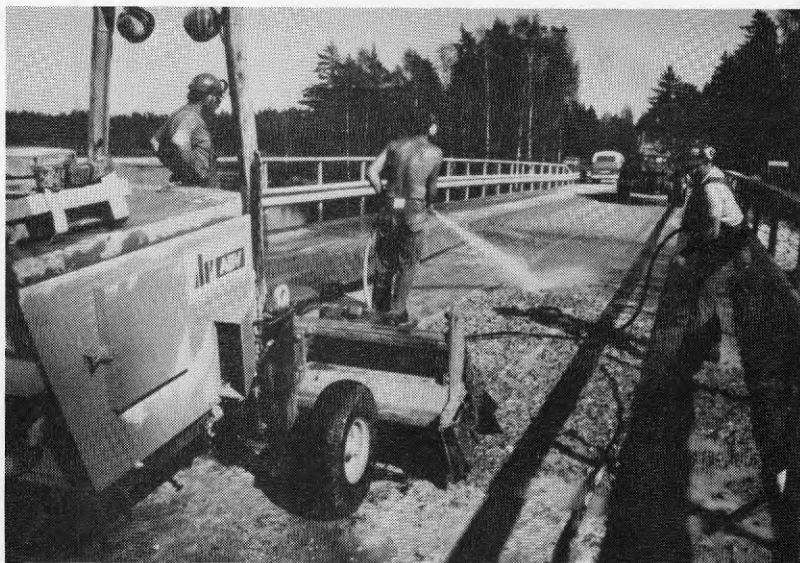


Fig 4.12 Rengöring av bilad yta med högtrycksvatten. Viktigt moment före pågjutningen.

I samarbete med Statens vägverk och Robocon System AB har NCC (ABV) utvecklat en brobanebetong som används för pågjutning av vattenbilade brobaneplattor. Det är en stålfiberarmerad slitbetong med liten krympning och stor slitstyrka. Den har följande materialegenskaper:

| | |
|-------------------------|--------|
| Tryckhållfasthet | 85 MPa |
| Spräckdraghållfasthet | 4 MPa |
| Vidhäftningshållfasthet | 2 MPa |

Den uppfyller väl kraven på frostbeständighet enligt Svensk Standard SS 13 72 36.



Fig 4.13 Pågjutning av ny brobanebetong.

Vid Turon ABS fabrik i Varberg utfördes vattenbilning av ett skadat industrigolv. Produktionen i fabriken kunde fortgå vid sidan om genom att utrymmet skärmades av väl med presenningar. På fig 4.14 har roboten försatts med en extra kåpa för uppsugning av vatten och mindre bilningsrester.

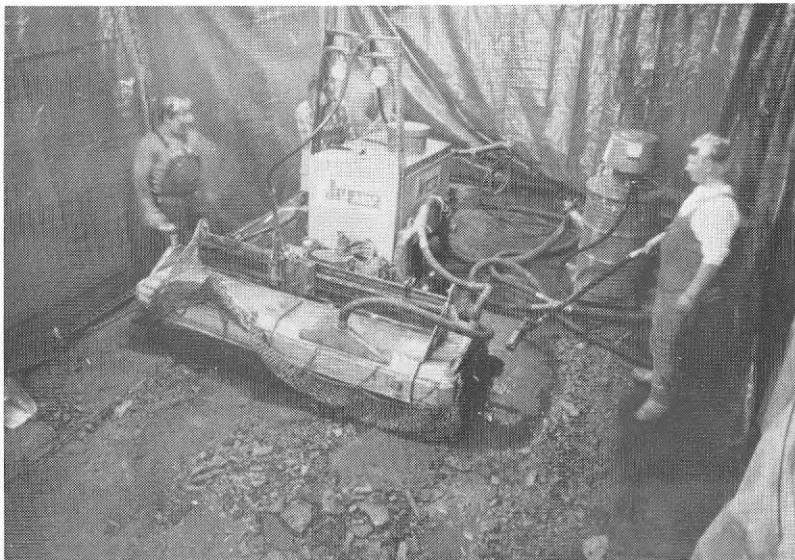


Fig 4.14 Vattenbilningsroboten med påbyggd extra utrustning vid inomhusbilning. Betongspill och vatten sugts upp med injektorsug.

4.2 Vattenbilning av vertikala ytor

4.2.1 Väggar i reningsverk

På bassänger av armerad betong som ingår i Hässleholms reningsverk hade 1985 uppstått betongskador av en omfattning som krävde reparation. Bassängerna används för kemisk rening av avloppsvatten. Under de första åren de var i bruk drevs reningsprocessen så att vattnets pH-värde var lågt varvid betongens ytskikt skadades.

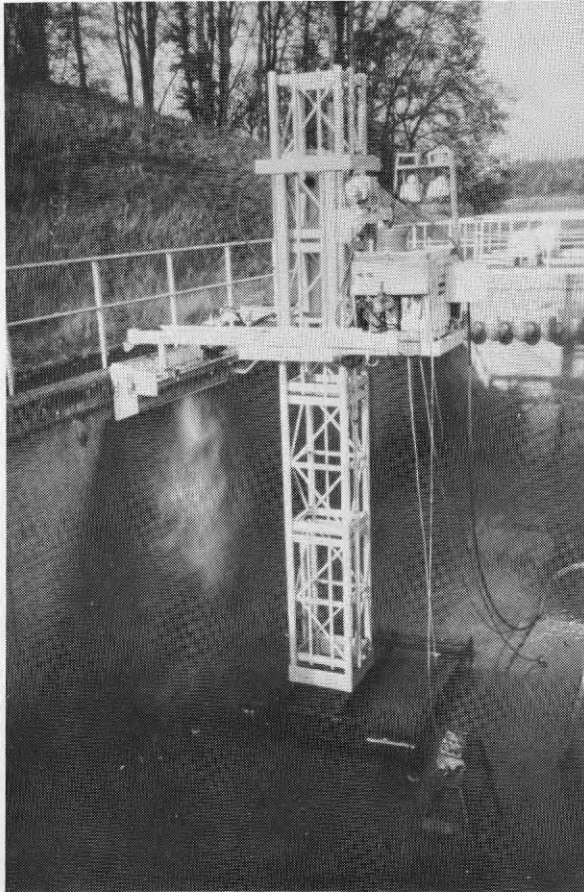


Fig 4.21 Vertikal vattenbilning i reningsverksbassäng.

Vid reparation av bassängväggarna vattenbilades yt-skiktet bort till ett djup av 3-5 mm. Betongen var därunder tillfredsställande. Vägghöjden varierade från 4 till 5 m. För att kunna vattenbila till denna höjd konstruerades en fackverksmast enligt fig 4.21 som bärrare för matarbalken. Vattenbilningen utfördes nerifrån och uppåt med 2,1 m arbetsbredd. Masten flyttades därefter i sidled. Arbetskapaciteten var ca $100 \text{ m}^2/\text{dag}$. Totalt vattenbilades här 1.750 m^2 vägg.

När betongytan torkat påsprutades en lösning av metylmetakrylat, $0,6-0,7 \text{ liter/m}^2$ av fabrikatet Betongsealer 130 från Capton AB. Produkten är besläktad med plexiglas och ger en diffusionsöppen blank lackyta.

4.22 Silovägg

Fig 4.22 visar vertikal vattenbilning på en spannmåls-silo i Falkenberg. Konstruktionen var glidformsgjuten. Täcksiktet var för litet, armeringen började korrodera och medförde lossprängning av betongen. Vattenbilning utfördes till ett djup av 10-20 mm. Sedan påfördes ca 30 mm sprutbetong.



Fig 4.22 Vertikal vattenbilning på silovägg.

4.23 Bropelare

Vid provreparation hösten 1988 av pelare nr 136 till Ölandsbron vattenbilades okbalk och pelarskaft ner till nivån $-0,20$ m. Föreskrivet bilningsdjup var 100-150 mm varvid den befintliga armeringen frilades helt. Resten av pelarskaftet mellan $-0,20$ och $-6,30$ ytrensades genom vattenblästring från musslor och lös och spjälkad betong. Denna högtryckstvätt utfördes med en handhållen roterande dysa vid ett pumptryck av 500 bar. Högtryckstvättning har visat sig ge en helt annan djupverkan och rensningseffekt i porer och sprickor än konventionell sandblästring. Såväl vattenbilning, vattenblästring som reparation av pelaren i form av pågjutning av 40 cm ny betong utfördes helt i torrhet i en kassun, se fig 4.23.

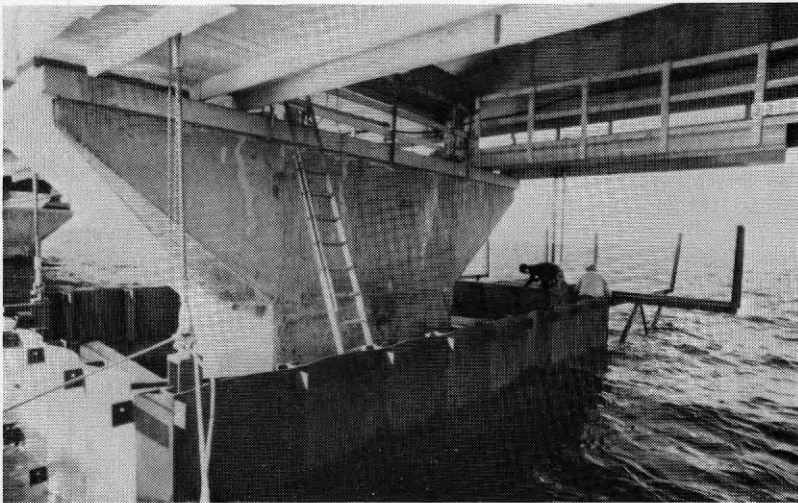


Fig 4.23 Vattenbilning och pågjutning av pelare till Ölandsbron utfördes i torrhet i en kassun.

För att öka vattenbilningsrobotens räckvidd modifierades matarbalkens infästning i roboten. Mellanstycken tillverkades och hyraulanslutningarna anpassades så att utrustningen kunde bila till ca 1,50 m under det arbetsbord som roboten stod på. Pumpenheten ställdes på brobanan ovanför. Färskvatten transporterades till arbetsplatsen i noga renspolade tankar.

Kalibreringsbilning utfördes med ett flertal olika inställningar. Sedan man provat fram en kombination av inställningar som gav tillfredsställande avverkningsdjup och råhet hos bilad yta kunde vattenbilning utföras i full skala.

Ingångsdata var ca 950 bar, 220 liter/minut, steglängd 10-15 mm och 6 sekunder per arbetsslag. Smärre justeringar gjordes fortlöpande under de första dagarna, exempelvis höjdes pumptrycket till 1.000 bar och slädhastighet och lansvinkel justerades efter hand för att anpassas till lokala variationer i betongkvaliten.

För att nå det erforderliga bilningsdjupet 100-150 mm krävdes normalt två överfarter men lokalt gjordes tre till fyra överfarter på partier med bättre betong för att nå erforderligt bilningsdjup. Vattenbilningen av en pelare utfördes på 10 arbetsskift à 8 timmar. Häri ingick tid för maskinmodifieringar, förflyttningar och ställtider.

Tidåtgången blev ungefär dubbelt så lång som hade förväntats. Orsaken härtill var att avverkningen kunde inte ske i en överfart. Betongen var i denna pelare bättre än i en annan som hade vattenbilats 1986, se fig 4.32. En överfart gav dessutom en yta som ej var godtagbar. Vidare tog det längre tid än beräknat att ändra om maskinen från vertikalbilning under arbetsbordet till vertikalbilning över arbetsbordet.

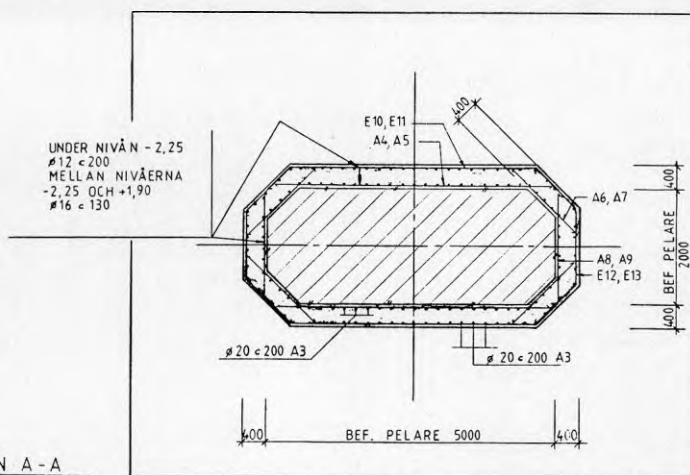
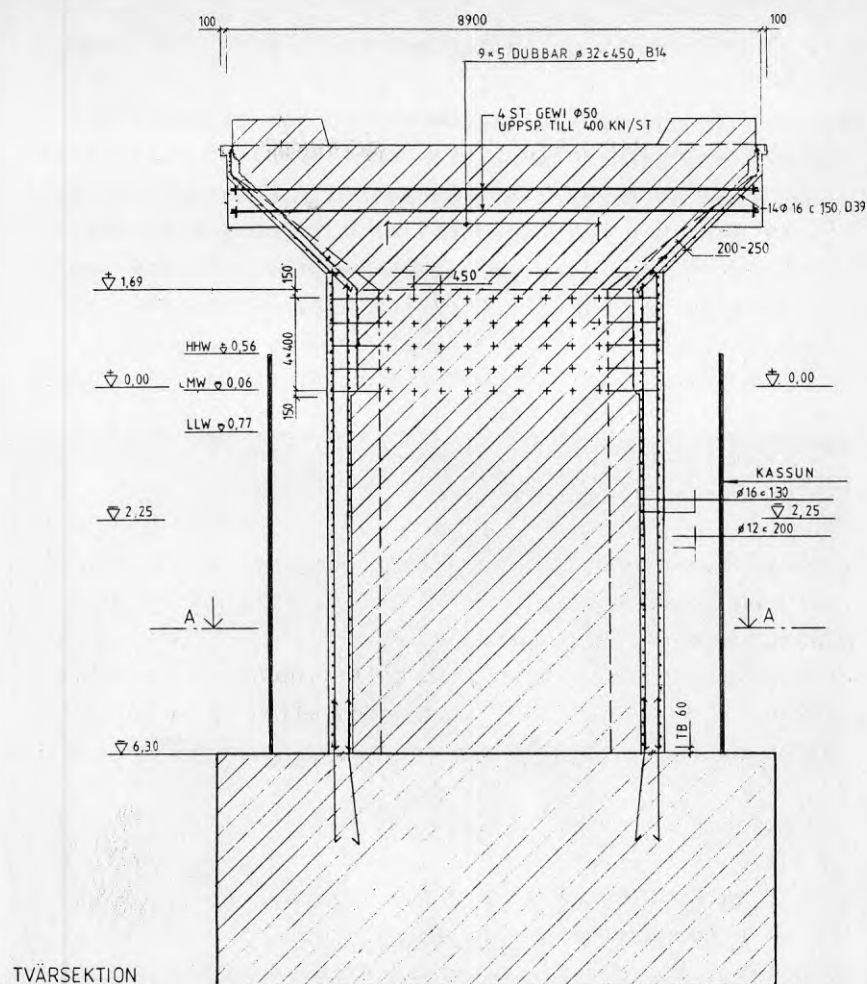


Fig 4.24 Ölandsbron. Reparation av pelare nr 136. Mått och armering.

4.3 Vattenbilning av tak och sneda ytor

Vattenbilningsroboten kan förses med en tillsats så att den kan arbeta underifrån-upp. Fig 4.31 visar vattenbilning av taket i ett garage. I standardutförande klarar maskinen takhöjder mellan 2,2 och 4,4 m. Matarbalken är infäst i en led vilket medför att maskinen automatiskt följer en takyta som ändrar lutning t ex invid pelare.

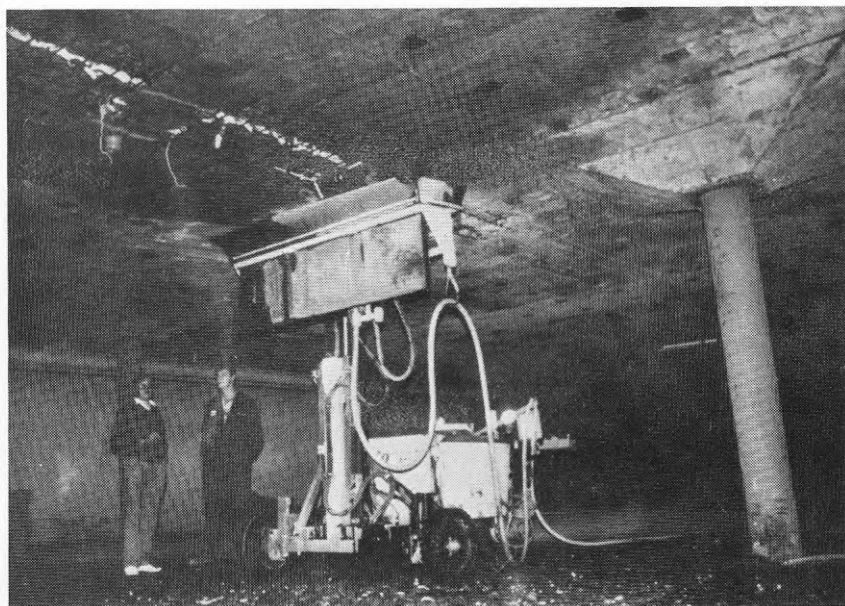


Fig 4.31 Vattenbilning av tak i garage.

Ett exempel på vattenbilning av en sned yta visas i fig 4.32. Genom att snedställa matarbalken från arrangemanget för vertikalbilning var det möjligt att vattenbilda de sneda ytorna på okbalkarna till Ölandsbron.

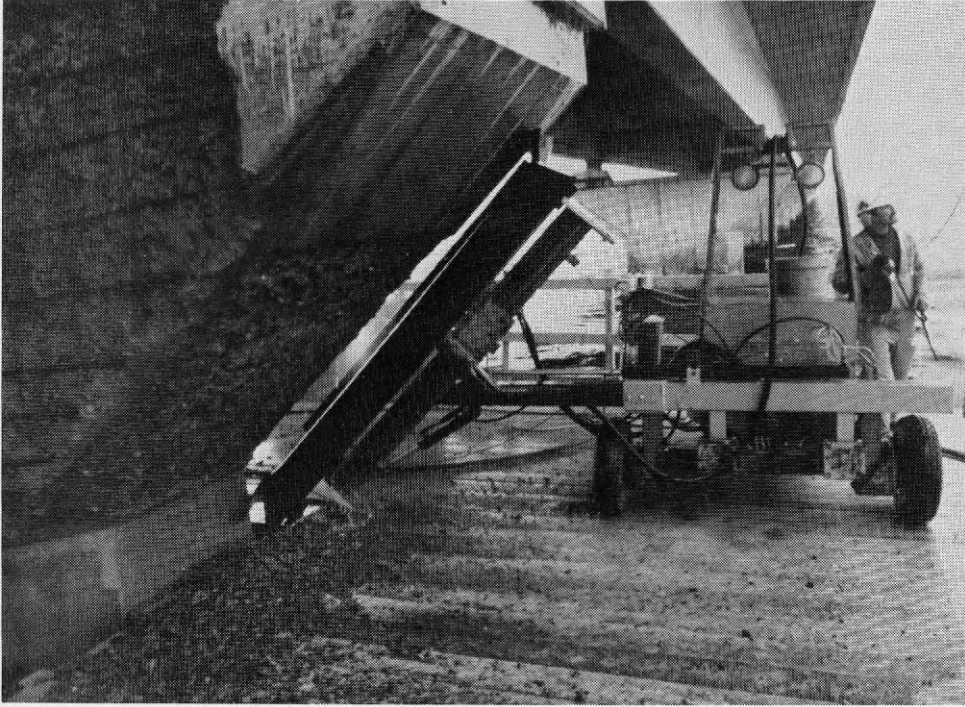


Fig 4.32 Arrangemang för vattenbilning av sneda ytor på en okbalk till Ölandsbron.

4.4 Vattenbilning av asfaltbeläggning

Kaptensbron över Södra Förstadskanalen i Malmö är en gång- och cykelbro som uppfördes 1945. Den ligger i centrum av Malmö mitt emot NK-varuhuset och är livligt trafikerad.

Konstruktionen är en kontinuerlig betongbalkbro med samverkande betongplatta. Spännvidden är 4 x 11 m och fri brobanebredd = 8,8 m. Bron är dimensionerad för en jämnt fördelad trafiklast av endast 4 kN/m² (400 kg/m²). Därför fick den inte belastas med tunga fordon och arbetsmaskiner.

I samband med översyn och utbyte av räckeskonstruktionen avlägsnades befintlig gjutasfaltbeläggning och isolering med vattenbilning. Av konstruktionsbetongen bortbilades 1-3 cm fläckvis så att överkantsarmeringen frilades.

| | |
|----------------------------|--|
| Vattenbilad broyta | 374 m ² |
| Bortbilad asfaltbeläggning | 65-70 mm |
| Bortbilad betong | 0-30 mm |
| Vattentryck | ca 1100 bar |
| Vattenflöde | 120 liter/minut |
| Tidåtgång | 5 arbetsskift à 8 tim |
| Kapacitet | 75 m ² /skift = 9,4 m ² /tim |

Efter bortkörning av bilningsmassorna och en omsorgsfull renspolning av betongdäcket gjordes en tunn pågjutning av ett cementbaserat lagningsbruk. På detta lades ny isolering och asfaltbeläggning.



Fig 4.41 Vattenbilning av gjutasfaltbeläggning på Kaptenbron i Malmö.

4.5 Djupbilning. Håltagning i betongpelare

Vid ombyggnad av verkstadshall 7 på Kockums f d varvsområde i Malmö till monteringsfabrik åt Saab-Scania uppstod behov av lastavväxlingar av två tillkommande mellanbjälklag i hallbyggnaden. Byggnadens befintliga pelare bär upp vägg- och takkonstruktionen samt utgör upplag för en traversbana. Pelarnas mått är 1,60 x 3,10 m till en höjd av 21 m över golv, se fig 4.51.

För att föra ner lasterna från de tillkommande bjälklagen har man att välja på att gjuta nya pelare mellan de befintliga eller att föra ner lasterna i de befintliga pelarna. I en del av byggnaden valdes av utrymmesskäl att ta upp lasterna från de tillkommande bjälklagen i de gamla betongpelarna.

Lasterna som behövde överföras till de gamla pelarna var så stora att det var nödvändigt att gjuta särskilda betongkonsoler, som fördes in i ursparingar i pelarna, se fig 4.52. Konstruktör för ombyggnadsarbetet var AB Jacobson & Widmark, Malmö.

4.51 Betongen i pelarna

Verkstadshallens betongpelare uppfördes 1975. De göts i betong klass I, K350, maximal stenstorlek = 32 mm. Betongytorna var målade. Vid försök att uppmäta karbonatiseringsdjupet med hjälp av fenolftaleinlösning utspädd i sprit kunde ingen karbonatisering konstateras. När man sedan vattenbilade i pelarna kunde man konstatera att pelarna bestod av högvärdig, frisk och osprucken konstruktionsbetong som var svårbilad.

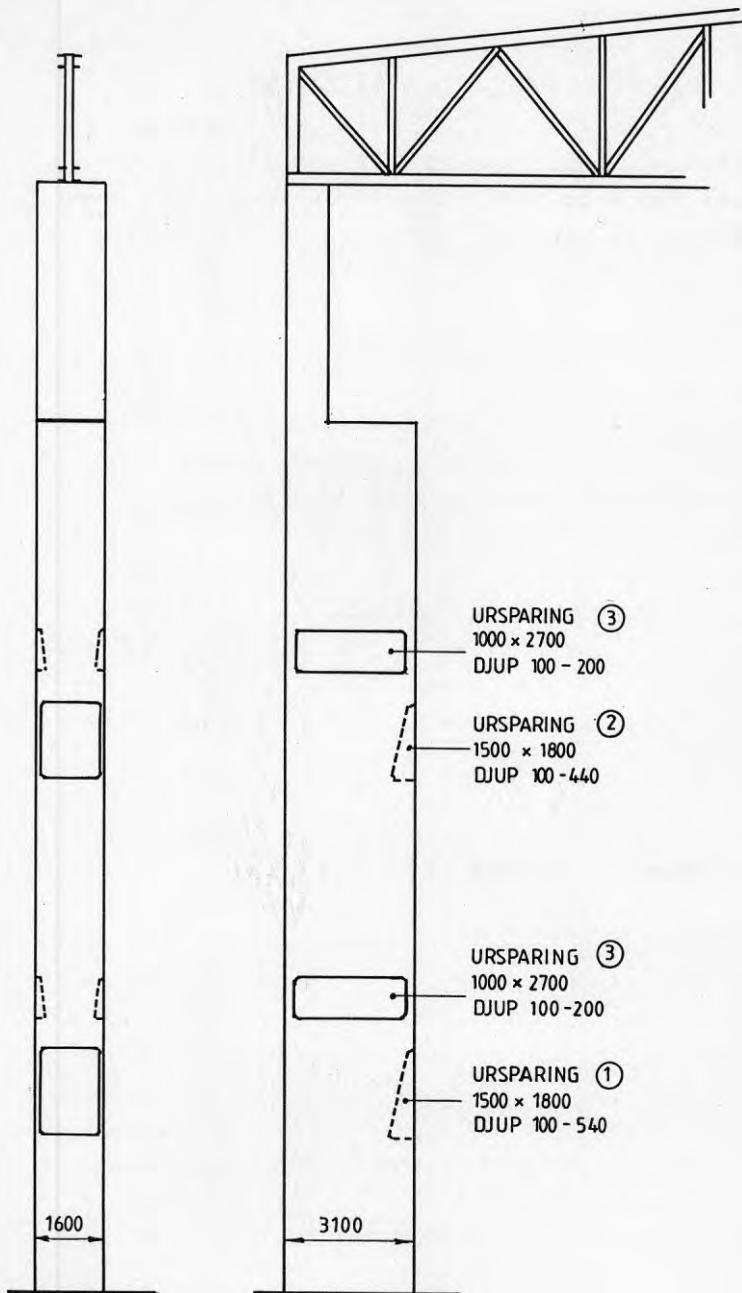


Fig 4.51 Betongpelare i verkstadshall. Ursparingar vattenbilas före gjutning av betongkonsoler.

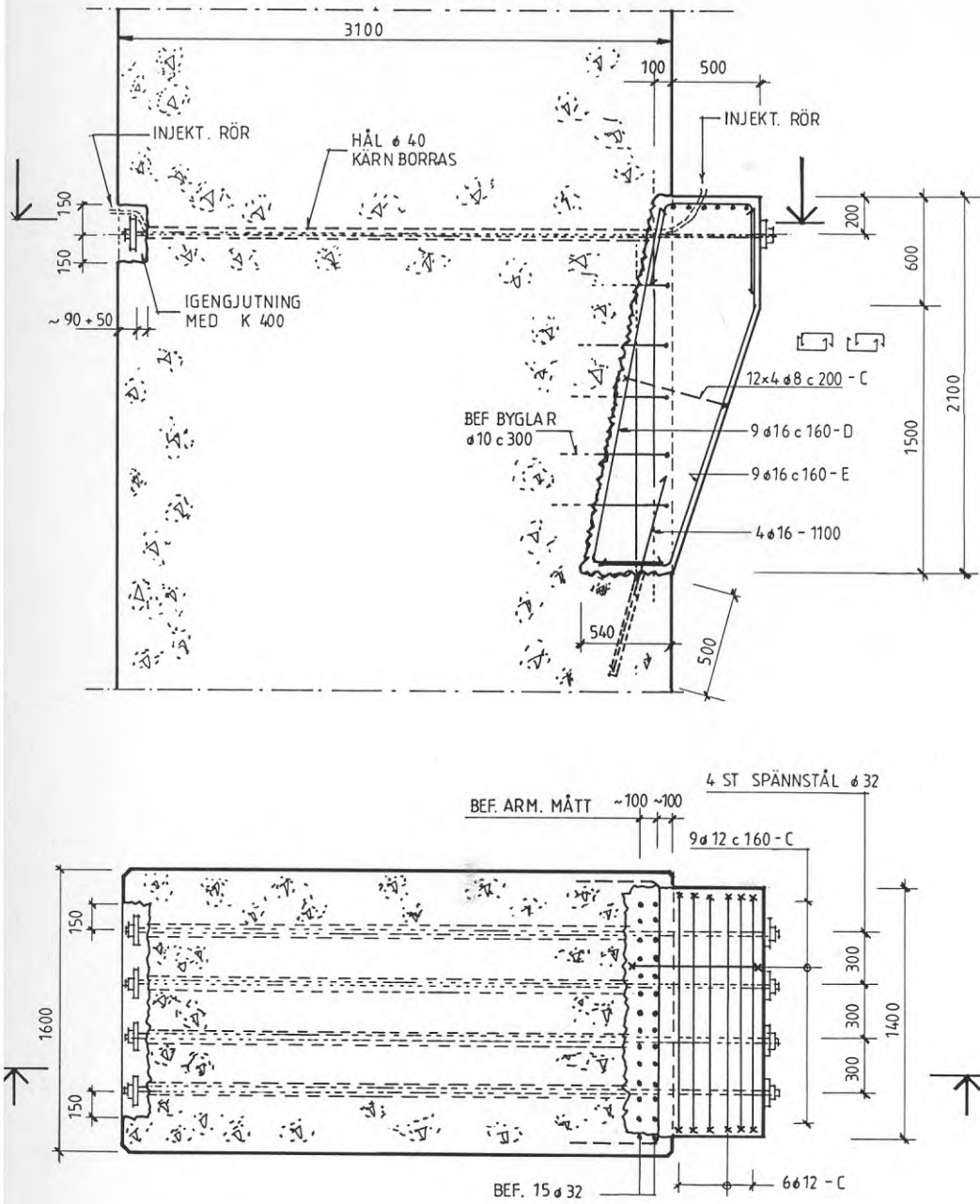


Fig 4.52 Betongkonsoler i gamla betongpelare för upp-
tagande av stora tillkommande bjälklagslaster.

4.52 Djupbilning av ursparing

Byggentreprenör för ombyggnadsarbetena var Konsortiet Bilen, bestående av PEAB och BPA, Malmö. Vid håltagningsarbetet försökte inledningsvis två man under en arbetsdag bila med handhållna tryckluftverktyg. Resultatet blev nästan omärkbart. Därför valde man att i stället låta ABV som underentreprenör vattenbila erforderliga håltagningar. Arbetet utfördes under december 1987.

På grund av att håltagningarna var placerade på höjder mellan 3 och 15 m över golvet och att det även var olämpligt att bygga ställningar invid pelaren valde man att montera vattenbilningsenheten på en hydrauliskt manövrerad kranarm, fig 4.53. Vattenbilningen styrdes via kablar från en manöverlåda av en operatör. Denne stod i en skylift några meter från bilningsstället för att kunna följa avverkningen men samtidigt stå på riskfritt avstånd för stensprut.

På betongpelarens yta bultades först fast en styrbalk mot vilken matarbalken kunde stödja och glida under avverkningen. Avverkningsbredden valdes genom att på matarbalken ställa in gränslägesbrytarna, fig 4.54.

Vid normal avverkning av horisontella betongytor används en automatisk frammatning av matarbalken. Vid konstant frammatning av matarbalken fås en selektiv bortbilning av betongytan. Skadad betong bortbilas lättare än frisk osprucken betong.

Vid håltagning kan inte automatisk frammatning användas eftersom matarbalken hålls upp av kranarmen. Frammatningen utförs därför genom att manuellt flytta den hydrauliskt styrda kranarmen.

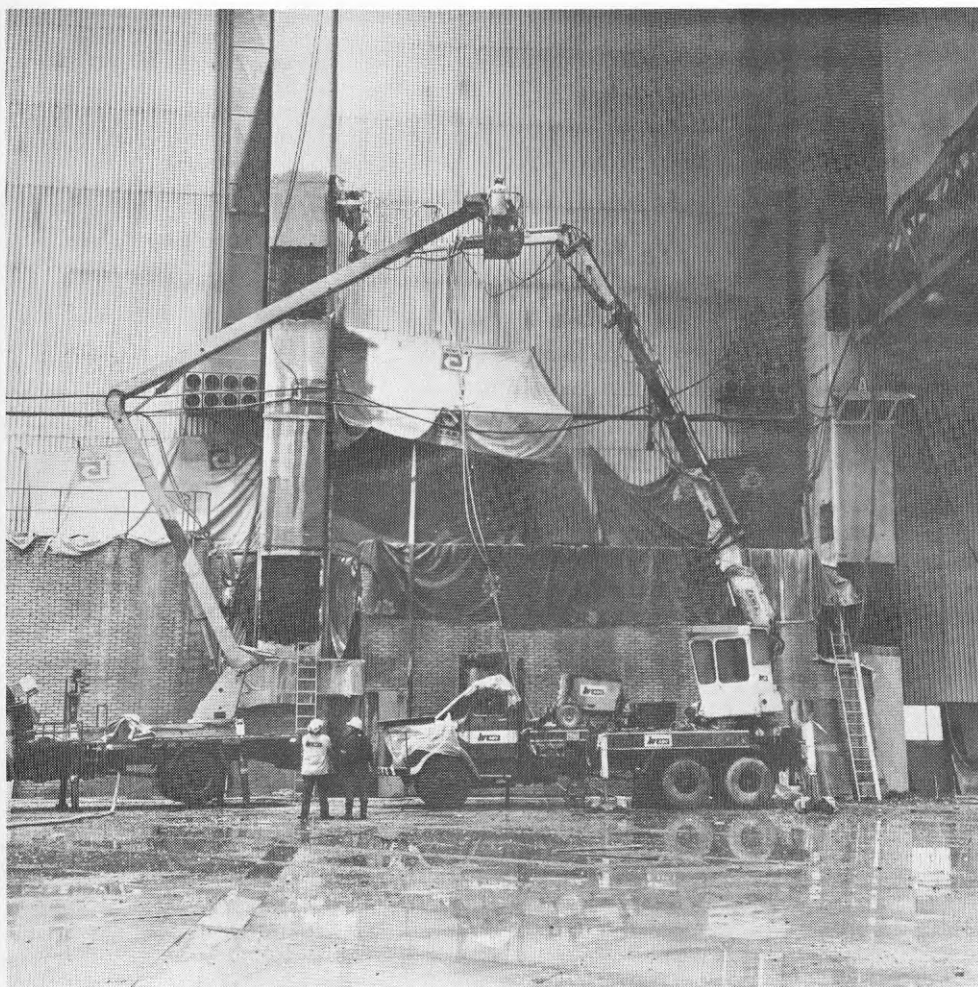


Fig 4.53 Avverkningsenheten från en vattenbilningsrobot har här monterats på kranarmen till en brolift (det högra fordonet). Matarbalken stöder mot en styrlist på betongpelaren under avverkningen. Vattenbilningen fjärrstyrs av operatören i liften till vänster.

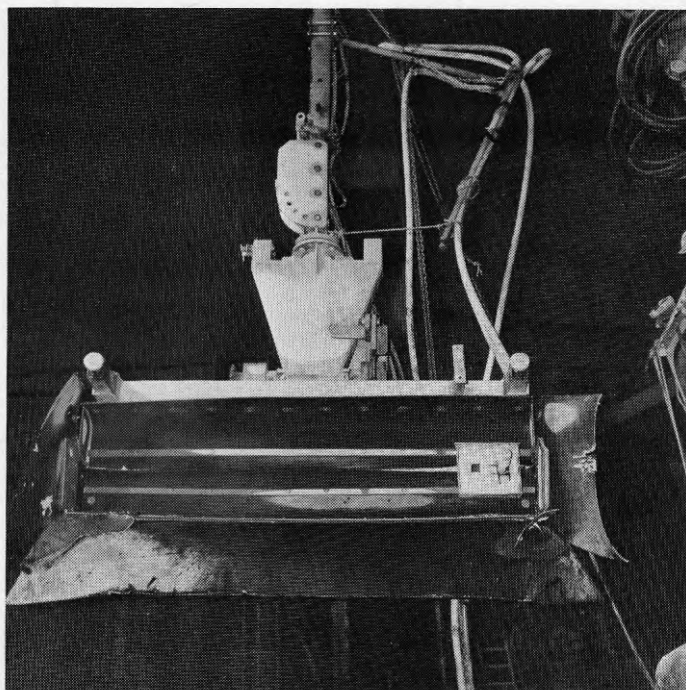


Fig 4.54 Vattenstrålemunstycket längst till höger på matarbalken. Avverkningsenheten är här monterad på en kranarm.

4.53 Maskinutrustning

För arbetet användes två parallellkopplade högtrycks-pumpar som var monterade i var sin container, se fig 4.55. Pumparna gav vardera ett maximalt tryck av 1200 bar och tillsammans ett vattenflöde av $13 \text{ m}^3/\text{tim}$. Vattenförbrukningen var $8-10 \text{ m}^3$ med normala avbrott.

Vatten togs från Malmös kommunala vattenledningsnät. Det filtrerades först i pumparnas filter. Det finaste filtret som användes här hade en maskvidd av 0.005 mm . Det kalkrika vattnet i Malmö vållar ej problem i filter eller pumpar. Däremot kan vatten ge problem om det innehåller mangan eller järn.

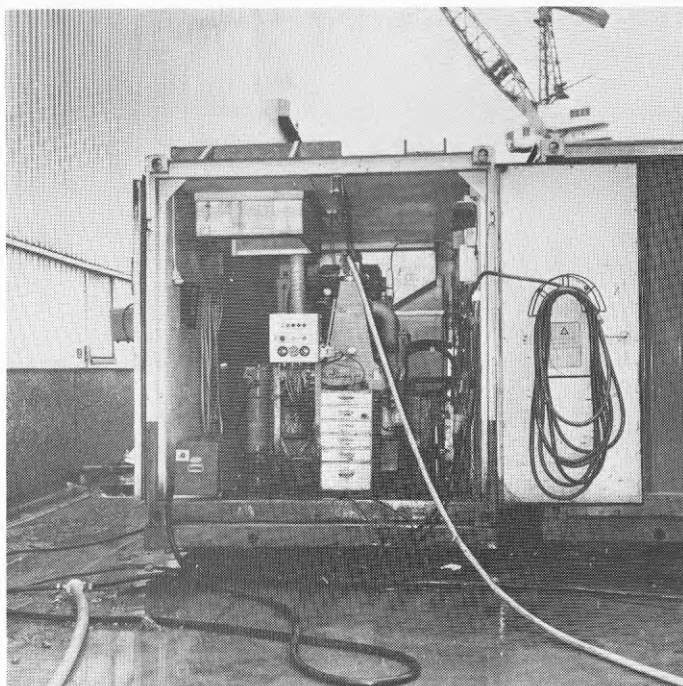


Fig 4.55 Högtryckspump för vattentryck om 1200 bar monterad i en 20-fots container.

4.54 Resultat

Vattenbilning är effektivast vid litet avstånd mellan munstycke och betongyta. På grund av att betongytan är ojämn håller man inte mindre avstånd till munstycket än 1,5-2 cm av rädsla för att det skall köra emot. Vattenstrålen är effektivast så länge den är samlad. På större avstånd splittras den av luften. Bilningseffekten blir då starkt nedsatt och avverkningen tar betydligt längre tid.

Tabell 4.1 Effekt vid olika avstånd från munstycket

| | |
|----------|---|
| 0-10 mm | Användes ej. Risk för påkörning vid ojämn betongyta. |
| 10-60 mm | Effektivaste avståndet ur bilningssynpunkt. |
| >60 mm | Mindre effektivt. |
| -540 mm | Utfördes vid håltagningar på Kockums. Vid stora avstånd blir effekten mycket nedsatt. |



Fig 4.56 Ursparing 1 efter avslutad vattenbilning.

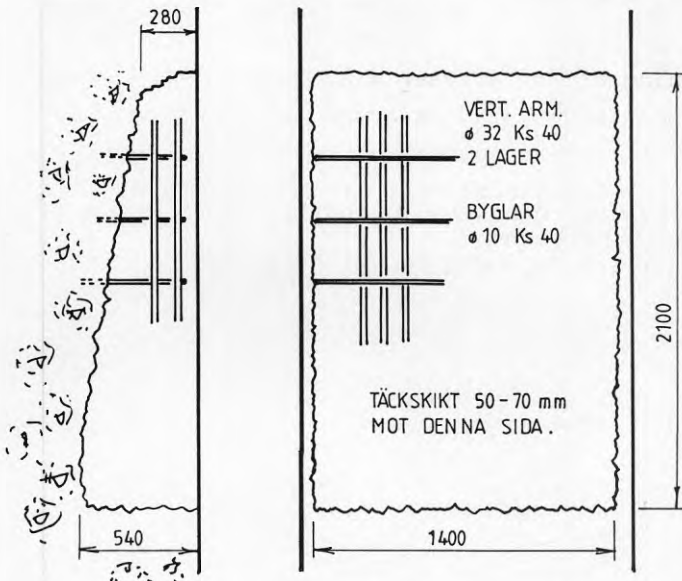


Fig 4.57 Bortbilad betongvolym i ursparing 1 visad i fig 4.51.

En av de djupaste ursparingarna var 540 mm, se fig 4.56 och 4.57. Innanför ett täckande betongskikt av 5–7 cm fanns två lager stående armering $\varnothing 32$ Ks40. Armeringen försvårade vattenbilning av bakomvarande betong. Det uppstod s k skuggeffekt vilket gav kvarstående icke bortbilade skivliknande betongpartier bakom de grova armeringsstängerna, se fig 4.58. Genom att snedställa sprutmunstycket kunde även betongupphöjningarna bilas bort.

Fig 4.59 visar en detaljbild av en till fullt djup 540 mm vattenbilad ursparing. Figuren visar en del av ursparing 1 visad i fig 4.51.

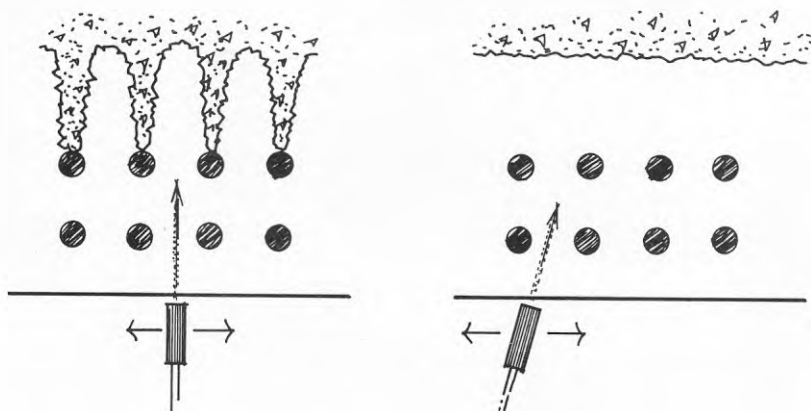


Fig 4.58 Skuggeffekt ger skivliknande betongpartier bakom armeringen. Dessa kan bortbilas genom att snedställa sprutmunstycket.



Fig 4.59. Detalj från färdig, vattenbilad ursparing, visande nedre vänstra delen av ursparing 1. Största avverkningsdjup 540 mm.

4.55 Kapacitet

Vattenbilningen utfördes av två montörer. De svarade för arbetets utförande och för handhavandet av all maskinell utrustning. Sedan etablering utförts på arbetsplatsen kan arbetstiden indelas i

- flytt- och ställtider
- effektiv maskintid för högtrycksbilning.

Förflyttningar av utrustning och inställningar före vattenbilning av varje ny ursparing är omfattande. Även under pågående avverkningar behöver avbrott göras för inspektion och justeringar.

Ursparingarna i betongpelarna var huvudsakligen av tre storlekar. Erforderlig effektiv maskintid för högtrycksvattenbilning framgår av tabell 4.2. Sprutmunstycket var här inställt i olika vinklar. Därför tillkom ställtid även sedan vattenbilningen påbörjats.

Tabell 4.2 Effektiv högtryckstid

| Ursparing typ | Max djup [mm] | Bortbilad betongvolym [liter] | Effektiv högtryckstid [tim] |
|---------------|---------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 540 | 1200 | 10 |
| 2 | 440 | 730 | 6 |
| 3 | 200 | 400 | 3 |

Vid jämförelse av tidåtgången för vattenbilning på horisontella och vertikala betongytor kan man finna att det går något fortare att bila på väggar och tak än på golv. Det beror på att bilningsmassorna sköljs bort efterhand vid vägg- och takbilning medan de ligger kvar och är i vägen vid bilning av golvytor.

4.6 Yttvättning och uppbyggnad av sprickor

4.6.1 Konstruktion

En mittbarriär av armerad betong uppfördes hösten 1980 som trafikskydd mellan mötande filer på motorvägen E66 Malmö-Lund. Fig 4.6.1 visar en sektion. Det är en kontinuerlig konstruktion med längsgående sammansvetsad armering. Barriären är glidformsgjuten. Fabriksbetong K400 vattentät levererades i roterbil. Data: Std cement, cementhalt 330 kg/m^3 , max stenstorlek 30 mm, plastisk-medelstyv konsistens med vebe 5-7 och sättmått $< 3 \text{ cm}$, lufthalt 4,5-5,5%, vct = 0,38. Erhållen kubhållfasthet vid 28 dygn $450\text{-}550 \text{ kp/cm}^2$.

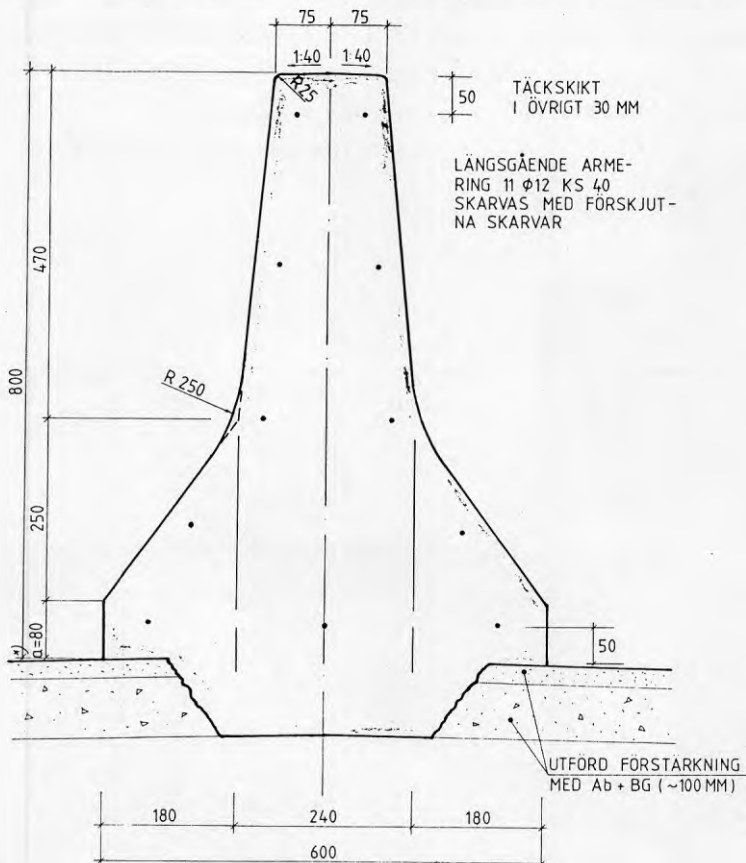


Fig 4.6.1 Sektion av mittbarriär på motorvägen Malmö-Lund.

Efter åtta år var betongbarriären i behov av reparation. Ytorna var kraftigt mättade med salt från tö-saltning vintertid. Genomgående sprickor i barriären var besvärande breda och invid dessa spjälkades betongstycken loss. Vägförvaltningen i Malmöhus län beslöt därför att 1 km av barriären skulle repareras som provsträcka där olika reparationsmetoder och ytbehandlingar skulle testas.

4.62 Yttvättning

Rensning och tvättning av barriärens sidor utfördes med en rotordysa, fig 4.62, som var monterad på en specialbyggd jigg formad efter barriärens kontur. Vattnestrålarna arbetade alltså på konstant avstånd från betongytan vilket gav en jämn rensningseffekt över barriärens hela höjd.

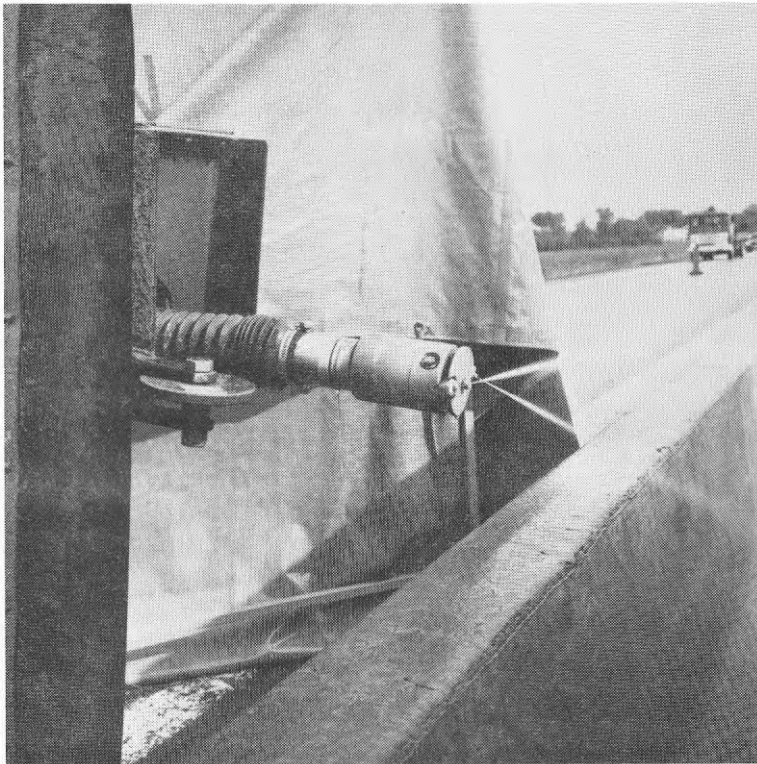


Fig 4.62 Rotordysa med två strålar. Strålmunstyckenas diameter 1,7 mm. Strålens vinkel 10° mot axeln.

Vid provkörning med 650–700 bar vattentryck blev effekten av ytrensningen ej tillräcklig. Vid 1100 bar uppstod spårbildning i betongen beroende på för högt tryck. Efter prov bedömdes att 850 bar vattentryck var det lämpligaste vattentrycket för ytrensning på den aktuella betongkonstruktionen tillsammans med övriga valda bilningsparametrar. Vattenförbrukningen var härvid $6 \text{ m}^3/\text{tim}$ vid kontinuerlig drift.

Rotordysan löpte upp och ner över barriärens höjd 0,8 m på 4,3 sekunder varefter roboten automatiskt körde fram 48 mm. Detta gav en kapacitet av 40 m/tim ensidig rengöring av betongbarriären.

4.63 Uppbilning av sprickor

Betongbarriären har i hela sin längd ett stort antal genomgående sprickor. Sprickavståndet varierar med tvärsnittets längsgående armeringsarea. Där barriären är armerad med 11 $\varnothing 12$ Ks40 är sprickavståndet i storleksordningen 2 m. I en kort del av barriären som är armerad med endast 2 $\varnothing 12$ Ks40 är sprickavståndet 5–6 m och tillhörande sprickbredder därmed större. Armeringsmängden är i alla snitt så liten att när en genomgående spricka orsakad av betongens krympning och temperaturrörelser slagit upp kommer armeringen att flyta i sprickan. Detta medför breda sprickor som ger beständighetsproblem.

I de delar av barriären där de bredaste genomgående sprickorna fanns bilades betongen bort tvärs barriären med högtrycksvattenstrålemetoden. Fig 4.63 visar en delvis genombilad sektion. De delar av sektionen som låg under körbanans nivå bortbilades med konventionella metoder för att förhindra högtrycksvattenstrålen att spola bort asfaltbeläggningen.

Sektionen i fig 4.63 är armerad med endast 2 $\varnothing 12$ Ks40. Armeringen var rostangripen på ca 5 cm längd i spricksnittet. Den var även ihopsnörd i snittet vilket visade att armeringen hade flutit i sprickan.

Provbilning utfördes före arbetets igångsättning på ett utskuret stycke av betongbarriären för att uppskatta bilningsmotstånd och erforderlig bilningstid. Vid provet vattenbilades i osprucken betong. När de genomgående sprickorna i barriären bilades upp gick det betydligt lättare och fortare att gå igenom sektionen. Effektiv högtryckstid var nästan hälften jämfört med probbilningen i osprucken betong. I båda fallen användes 2 parallellkopplade högtryckspumpar som tillsammans gav 210 liter vatten/minut vid 1100 bar vattentryck.

En förklaring till att det går lättare att bila i en sprucken sektion är att strålen letar sig fram längs sprickan. Därvid eroderas betongen lättare bort än i osprucken betong.

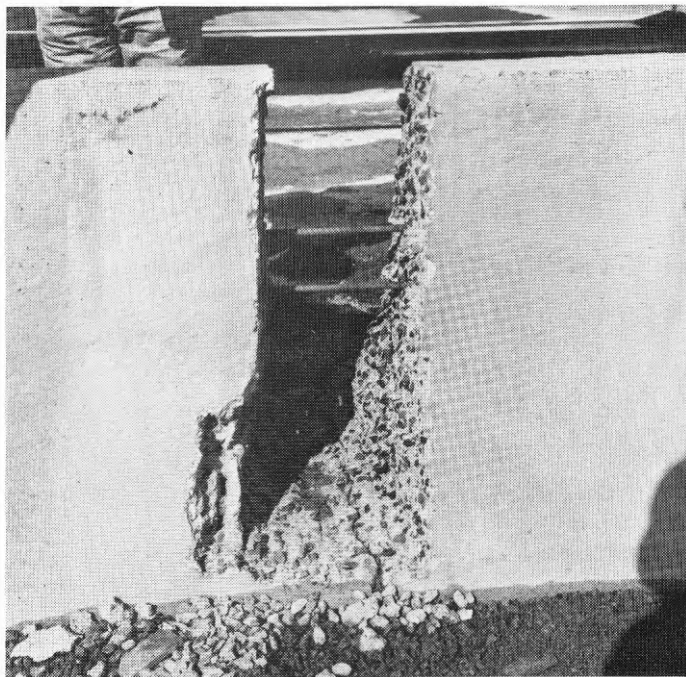


Fig 4.63 Vattenbilat snitt genom betongbarriär.

4.64 Reparation

De uppbilade snitten göts igen med betong. Sedan denna härdat ett par dagar gjordes en sprickanvisning i lagningen i form av ett uppsågat spår vilket försågs med ett elastiskt fogband.

På de tvättade ytorna påfördes ytbeläggning eller impregnering. Fem olika produkter provades på olika provsträckor:

1. Dynasilan. Baserad på silan. Kräver torr yta.
2. Wacker Bs44. Baserad på silan och siloxan, spädes med lacknafta, kräver torr yta.
3. Decadex. Hartsrik vattenbaserad polymer, på torr yta.
4. Flexcrete. Cementbaserad målningsbar skyddsbeläggning, på våt yta.
5. Perma Shield. Kräver torr yta.

Arbetet utfördes i september 1988.

5. BILNINGSMOTSTÅND

Sedan ABV började att vattenbila i betongkonstruktioner 1984 har betydande erfarenhet vunnits om hur bilningsmotståndet varierar i betong med olika typer av skador. Betongkonstruktioner som behöver repareras har vanligen ytor med omfattande uppsprickning och områden med uppspjälkade täckskikt. Krackelering av ytor kan tyda på en kemisk förändring eller urlakning av betongen.

Vid undersökning av bilningsmassor från vattenbilning framgår det att lossbrytningen av enskilda stenar sker längs kontaktytan mellan ballast och cementmatris. Betongdelar bryts loss längs svaga zoner såsom längs mikrosprickor i matrisen. Försök visar att bilningsförmågan också påverkas av betongens ålder och materialets fysikaliska egenskaper. Betongens tryckhållfasthet bestämmer således inte ensamt bilningsmotståndet.

I det följande beskrivs några fysikaliska och kemiska parametrar hos betong och vilket inflytande dessa har på bilningsmotståndet vid vattenbilning.

5.1 Inverkan av sprickor och betongens permeabilitet

Brottmekanismen vid vattenbilning är väsentligen resultat av att vatten under mycket högt tryck pressas in i betongen genom mikrosprickor och porer. Genom det hydrauliska trycket bryts materialet sönder och kastas åt sidan. Ospruckna betongvolymmer har därför ett större bilningsmotstånd.

Tryckhållfastheten hos de flesta ballastmaterial som används i betong överstiger betongens tryckhållfasthet. Vid vattenbilning tränger vattnet in längs sprickor där det möter minst motstånd tills det når ballasten. Här är den svagaste zonen vanligen längs kontaktytan cement-ballast. Brottytan går därför snarare runt om än genom ballasten.

I betong med en lägre andel sprickor och bättre vidhäftning mellan cement och ballast blir bilningsmotståndet större. Ett lågt vattencementtal medför vanligen en högre tryckhållfasthet och mindre porer. Ytavjämning och härdning av betongen påverkar också permeabiliteten och porositeten hos den färdiga konstruktionen. Väl utförd fukthärdning med tanke på de kemiska reaktionerna ger även en lägre permeabilitet. Glättning av betongytan vid gjutningen ger en låg porositet i ytskiktet och utgör en ytterligare barriär mot högtrycksvattenstrålen. Alla dessa faktorer ökar bilningsmotståndet.

5.2 Inverkan av klorider

Ytskiktet kan innehålla för höga koncentrationer av klorider vilket ännu inte lett till skador i form av armeringskorrosion och lossprängning av täckskikten. Det är vanligt att man vid vattenbilning kräver att all saltskadad betong skall avlägsnas. Denna betong är porösare än den friska betongen varför bortsorteringen är enkel.

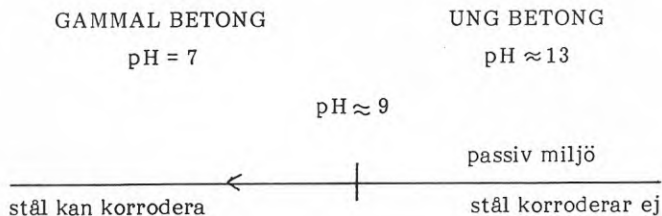
5.3 Inverkan av karbonatisering

Hur betongens ålder inverkar på bilningsmotståndet är något oklart. Nygjuten betong är relativt lätt att vattenbila. Detta material kan ha en hög tryckhållfasthet även om vidhäftningen inte har utvecklats helt.

Betongens karbonatisering är en långtidseffekt som innebär en kemisk förändring av de ytskikt som står i kontakt med luften. Karbonatiseringen resulterar i ett hårdnande av de exponerade ytorna. Härvid ökar tryckhållfastheten och permeabiliteten minskar. Karbonatiserad betong är alltså svår att vattenbila vilket erfarenheter bekräftar.

Karbonatiseringen är en följd av att luftens koldioxid CO_2 reagerar med betongens kalciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ och bildar kalciumkarbonat CaCO_3 .

I nygjuten betong är $\text{pH} = 13-14$. Detta är för ingjuten armering en passiv miljö, stål kan här ej korrodera. Vid karbonatiseringen sjunker pH under ca 9 varvid korrosionsskyddet för den ingjutna armeringen upphör. När karbonatiseringsfronten har nått armeringen och korrosionen har börjat, bildas rostprodukter vilka tar större plats än stålet självt. Då spricker betongen och täckskikten sprängs loss.



För bortbilning av enbart karbonatiserad betong krävs en kontroll av att avverkningen sker till ett visst djup vilket bestäms med ett enkelt prov. Detta karbonatiseringsprov utförs med fenolftaleinlösning utspädd i sprit. Lösningen sprutas eller penslas över en nybilad provyta. De partier som färgas röda är alkaliska (högt pH) och där har ännu inte skett någon karbonatisering.

5.4 Sammanfattning

Bilningsmotståndet vid vattenbilning i betong är en funktion av flera materialtekniska och hydrodynamiska variabler. Bland de viktigaste är betongkvalitet, hållfasthet, permeabilitet, karbonatiseringsgrad och graden av uppsprickning, såväl makro- som mikrosprickor.

I osprucken betong är bilningsmotståndet ungefär proportionellt mot betongens spräckdraghållfasthet.

6. FÖR- OCH NACKDELAR

Fördelarna med vattenbilning jämfört med handbilning kan sammanfattas: 1. Bättre arbetsmiljö, 2. Bättre resultat och 3. Tidsbesparing.

6.1 Bättre arbetsmiljö

Ur arbetsmiljösynpunkt har vattenbilning många fördelar jämfört med bilning med handhållna tryckluftverktyg. Skador orsakade av vibrationer på händer, armar och axlar elimineras helt. Vattenbilning är helt vibrationsfri. Dammet binds av vattnet. Ljudnivån på arbetsplatsen är klart lägre vid vattenbilning än vid mejsling med hjälp av tryckluft men likväl erfordras hörselskydd.

Vattenbilningsutrustningen handhaves normalt av 1-2 personer. Deras uppgift under bilningen är att övervaka bilningsprocessen och styra utrustningen via en bärbar fjärrkontroll. Kringflygande stenar kan vara en fara för operatören och personal som arbetar i närheten varför de måste bära visir.

Högtrycksvattenstrålens verkan kan liknas vid den hos en bandsåg. Operatören får därför inte ha möjlighet att komma i kontakt med strålen. En risk ligger däri att den inte omedelbart verkar farlig. Roboten är emellertid byggd så att det inte skall vara möjligt att komma i kontakt med strålen vid normalt handhavande. Man har inom NCC (ABV) och Atlas Copco avrått från att arbeta med handhållna vattenbilningsverktyg. Om operatören t ex skulle råka snubbla skulle högtrycksvattenstrålen kunna tillfoga honom mycket allvarlig skada. Dessutom kastas lossbrutna betongstycken och stenar långt omkring.

6.2 Bättre resultat

Vattenbilning är mycket skonsamt mot kvarvarande betong och armering till skillnad från mekanisk bilning. Vattenbilning ger resultat som är tekniskt överlägset andra bilningsmetoder.

- Detaljkartering av skadeomfattning före avverkning behövs ej. All dålig betong tas bort selektivt. Vid handbilning däremot blir arbetsresultatet i hög grad beroende av operatören.
- Lämnar en yta med mycket stor råhet som ger god vidhäftning vid pågjutning.
- Armeringsstängerna blir effektivt rengjorda från betongrester, även rost avlägsnas.
- Armeringen skadas ej. Bilning med tryckluftverktyg lämnar däremot deformerade och krökta armeringsstänger [23].
- Vattenbilning skadar ej vidhäftningen mellan armering och betong i de delar som ej skall bilas vilket tryckluftbilning gör [23].
- Vattenbilning ger bättre precision i avverkningen. Man kan vattenbila nära känsliga snitt, vid spännkablar m m.

6.3 Tidsbesparing

Den höga kapaciteten vid avverkning med vattenbilning jämfört med konventionell manuell mejselbilning resulterar i en avsevärt förkortad tid för bilningsarbetet. Följaktligen förkortas den tid då konstruktionen måste tas ur bruk samt den totala reparationstiden.

6.4 Nackdelar

En nackdel kan vara att en betydande mängd vatten erfordras för vattenbilningen. Lämplig dränering är nödvändig för att leda bort vattnet från arbetsplatsen. Man måste här beakta att processvattnet är förorenat med sandpartiklar, varför det inte kan ledas direkt i avloppet.

Vattenbilning av utomhuskonstruktioner bör begränsas till den del av året då det inte föreligger någon risk för frost. Under vinterperioden kan bilning utföras inomhus av t ex industrigolv, i parkeringshus m m.

Man måste vara observant för stensprut från vattenbilningsroboten. Skador på omgivningen kan lätt uppstå när man vattenbilar t ex ena körbanan av en bro med trafik på den andra körbanan. Ett skydd mot stensprut kan vara mycket enkelt. En skärm eller presenning kan ofta räcka.

Vattenbilningsroboten har begränsad aktionsradie från högtryckspumpen. Med $\frac{1}{2}$ " slang bör slangens längd vara högst 80 m. Annars blir tryckfallet för stort. Med grövre tryckslang kan däremot längre slang användas.

Kostnaden för vattenbilning kan vara en nackdel, särskilt vid bortbilning av grova konstruktionsdelar. Vid ytbilning är kostnaden för vattenbilning ungefär jämförbar med konventionella bilningsmetoder. Vid val av bilningsmetod måste man därför även värdera de kvalitetsmässiga fördelar som vattenbilning ger.

7. KAPACITETER OCH KOSTNADER

7.1 Kapaciteter

Kapaciteten vid vattenbilning beror i hög grad av skadans djup, betongens hållfasthet och typ av ballast. Vid vattenbilning av svenska brobanepplattor utförda av ABV 1984 uppmättes 7-18 m²/tim när avverkningsdjupet var 25-35 mm [24]. Statens vägverk uppger kapaciteten till storleksordningen 10 m²/tim [25]. Detta kan jämföras med kapaciteten vid manuell bilning som normalt är 0,2-0,5 m²/tim och person [25]. Vattenbilning har alltså en avsevärt mycket högre kapacitet. Skillnaden märks ännu mer när bilningsdjupet överstiger täckskiktets tjocklek.

Stora volymer betongrester och bilningsvatten måste avlägsnas från arbetsplatsen. Vattenbilning av en normal brobanepplatta på ca 250 m² kan ge omkring 10 m³ bilningsmassor och behöva 200 m³ vatten. Bortspolning av bilningsmassorna kan ske med högtrycksvatten vid ca 400 bar. Detta kan utföras med en handhållen lans ansluten till vattenbilningsutrustningens pumpenhet. Alternativt kan uppsugning användas. Den vattenbilade betongytan bör rensas så fort som möjligt så att kalkhaltigt vatten inte står kvar och avdunstar. En kalkhinna som bildas på detta sätt är svår att senare avlägsna.

Det går t o m något fortare att vattenbila väggar och tak än golv. Det beror på att bilningsmassorna sköljs bort efter hand medan de ligger kvar och är i vägen vid bilning av golv.

7.2 Kostnader

Totalkostnaden för vattenbilning kan uppdelas i

- transportkostnader
- etableringskostnader
- kostnader för el och vatten
- kostnad för högtrycksbilning per timme effektiv tid
- kostnad för flyttningar och ställtider per timme
- kostnad för hopsamling och borttransport av bilningsmassor, renspolning
- kostnad för arbetsledning
- skifftillägg.

Totalkostnaden beror av många faktorer och det är därför vanskligt att ange en riktkostnad. Enligt Statens vägverk [25] är totalkostnaden för vattenbilning av ett brodäck innefattande ovan uppräknade delposter ca 400-1.200 SEK/m² beroende på skadan och storleken av den bilade ytan. Denna kostnad uppskattas i 1986 års priser vara jämförbar med kostnaden för manuell bilning.

I gynnsamma fall har kostnaden för vattenbilning kunnat sänkas betydligt jämfört med priserna ovan. Priset är i hög grad beroende av avverkningsdjup, ytans storlek, tillgänglighet, säsong m m.

8. UTVECKLINGSMÖJLIGHETER

Betydande utvecklingsarbete har sedan 1983 utförts på vattenbilning av betongkonstruktioner vid NCC (ABV) som byggföretag, Atlas Copco som maskintillverkare och Statens vägverk som byggherre-förvaltare. Trots att vattenbilningstekniken under denna tid tagit ett stort steg framåt och lett fram till en fungerande teknik som resultatmässigt är helt överlägsen andra bilningsmetoder kan ytterligare utvecklingsinsatser göras för att förbättra tekniken och utrustningen.

1. Optimering av bilningseffekten för olika betongtyper genom variation av olika parametrar såsom pumptryck, vattenflöde, munstycksdiameter, strålvinkel, skärhastighet, steglängd m m.
2. Utveckling av bärare för högtrycksvattenstrålen som möjliggör vertikal bilning av pelare med godtycklig sektion, höga väggar på t ex silor, industriskorsteningar, undersidor av brobaneplattor m m.
3. Utprovning av metod för vattenbilning under vatten av t ex bropelare, kajmurar m m.
4. Utveckling av metod för skärning av armerad betong med abrasiva tillsatsmedel i vattenstrålen för t ex håltagningar i väggar och plattor, rivning av kärnkraftverk m m.

8.1 Maskinutveckling

Under färdigställandet av denna rapport har det skett en fortsatt förbättring och utveckling av Atlas Copcos vattenbilningsutrustning Conjet och NCCs vattenbilningsavdelning i Stockholm har försett sin maskinutrustning med de nya tillbehören. Väsentliga tekniska förändringar är följande:

1. Högtryckspumpen har bytts ut mot en med kapaciteten 119 liter/min vid 1200 bar.
2. Försök pågår med att öka högtrycksslangens diameter från 1/2" till 3/4" för att minska tryckfallet i ledningen.

3. Roboten har försetts med 8 olika program för automatisk styrning av vattenbilningen. Bilningen sker nu även under returslaget och med en oscillerande rörelse av munstycket, 180–200 svängningar per 1,8 m åkrörelse och ger ca 10 cm avverkningsbredd. Avverkningskapaciteten ökar markant med oscillerande lans jämfört med fast lans.
4. Med en ny rotordysa fördubblas avverkningskapaciteten jämfört med fast lans. Vid ytrensning till 10 mm djup, s k ruggning, nås 70–100 m²/tim och vid 15–20 mm djup upp till 40 m²/tim.

8.2 Nya användningsområden

Den ursprungliga utrustningen konstruerades för vattenbilning av horisontella betongytor. Efter hand kompletterades den med tillsatser som möjliggjorde vattenbilning i andra vinklar och av andra konstruktionsdelar. En fortsatt förbättring av utrustningen och framtagning av särskilda avverkningsenheter för olika tillämpningar ökar metodens möjligheter.

Genom framtagning av andra typer av bärare för högtrycksvattenstrålen som alternativ till den nuvarande roboten skulle andra användningsområden bli möjliga. Efter t ex bränder uppstår behovet av rensning och rengöring av skadade betongkonstruktioner. En lätt, flexibel och lättmanövrerad bärare skulle öppna nya möjligheter. Man får dock inte i sin strävan efter enkelhet i konstruktionen glömma kravet på arbetarskydd.

Ett annat användningsområde för högtrycksvattenstrålen kan vara rengöring av stålkonstruktioner, borttagning av färgskikt, rost m m. Inom olika industrier och verkstäder behövs kvalificerad rengöring av olika maskiner, maskindelar, värmeväxlare, fartygsskrov m m. För sådana tillämpningar kan ett roterande vattenstrålemunestycke vara lämpligt och bäraren måste ha en annan uppbyggnad än den nuvarande Conjet-roboten.

8.3 Vattenskärning med slipmedel

Sedan några år tillbaks har man i bl a USA gjort försök med att öka vattenstrålens skärförmåga genom att tillsätta slipmedel, s k abrasiva tillsatser. Fördelarna med detta är då bl a att nästan vilket material som helst kan skäras och att det krävs mindre effekt än vid enbart vattenstråleskärning.

En ren vattenstråle tränger t ex vid 3000 bar igenom en 2 mm tjock plåt av korrosionsbeständigt stål på 30 sekunder. Tillför man ett finkornigt torrt slipmedel i strålen kan en 25 mm tjock plåt av samma material skäras med en hastighet av 0,76 m/min [26]. Lika tjocka skivor av glas och marmor kan skäras med hastigheter av 0,13 resp 0,15 m/min.

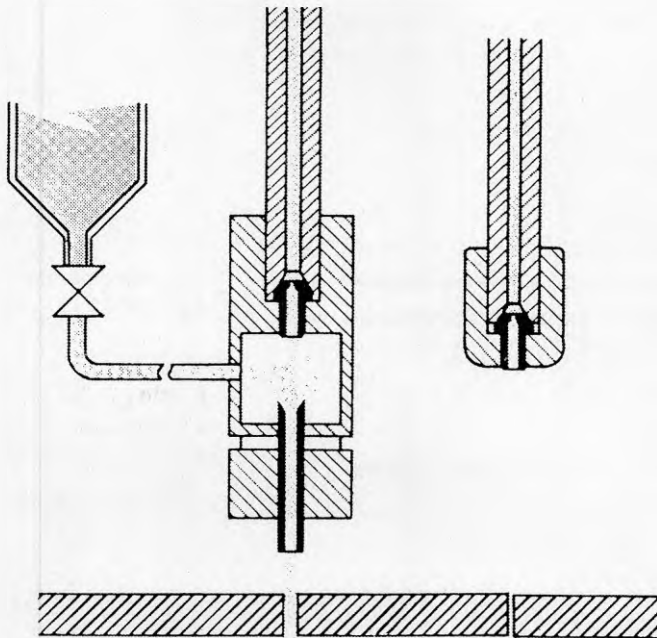


Fig 8.1 Princip vid vattenstråleskärning t v med tillförsel av torrt slipmedel och t h utan, [26].

Slipmedlet kan enligt fig 8.1 tillföras via en matare och en i anslutning till vattenstrålemunstycket monterad blandningskammare. Vid konventionell vattenstråleskärning kan vattenstrålemunstycket ha en slitinsats av aluminiumoxid. Vid vattenstråleskärning med slipmedel används ett munstycke med slitinsats av nötnings-tålig hårdmetall placerad efter blandningskammaren. Munstyckets diameter måste på grund av risken för igensättning av slipmedelskorn väljas större än vid skärning med rent vatten.

Fig 8.2 visar ett amerikanskt förslag till Abrasive Water Jet [16] där slipmedlet tillsätts vattenstrålen efter vattenmunstycket. Resultatet blir en fokuserad stråle med mycket hög hastighet, upp emot 1000 m/sek.

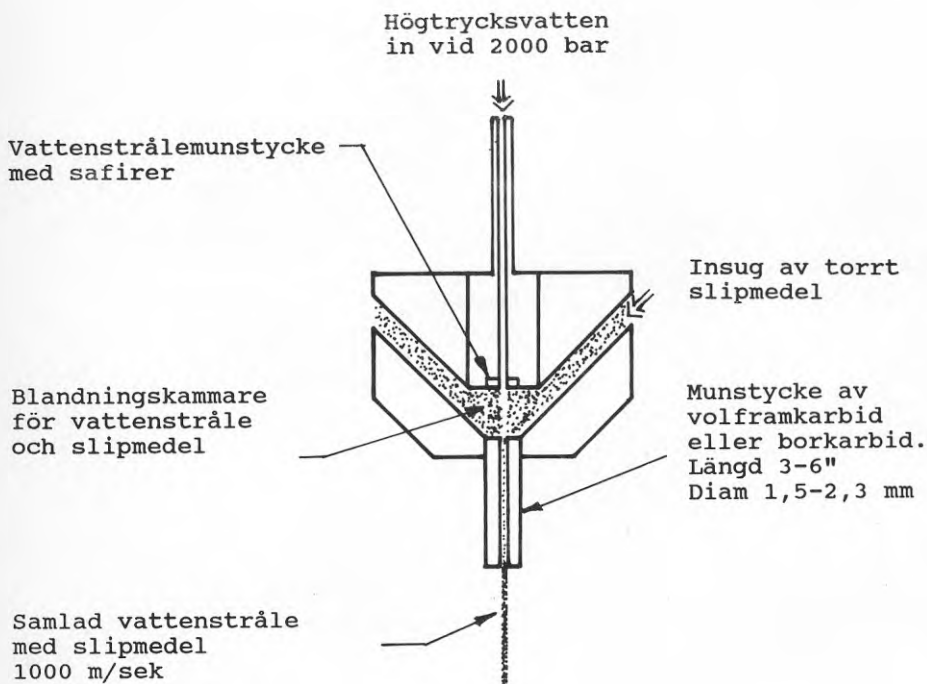


Fig 8.2 Amerikanskt förslag till Abrasive Water Jet [16] där slipmedlet tillsätts vattenstrålen efter vattenmunstycket.

Som slipmedel används kisel, sand, aluminiumoxid, grannatsand m m. Det är framför allt tre egenskaper hos partiklarna som är av intresse:

1. partikelns hårdhet och hållfasthet
2. partikelns kantighet
3. storleken på partikeln

Graden av kantighet är viktig eftersom partiklar med skarpa kanter är betydligt effektivare. Detta medför bl a att man inte kan återanvända sanden hur många gånger som helst.

8.31 Aquabrasive-metoden

Helt nyligen har Atlas Copcos dotterbolag Aquabrasive AB introducerat en utrustning som skär eller blåstrar med sandblandat högtrycksvatten i byggnadsmaterial såsom sten, betong och stål, fig 8.3. Sanden som är vanlig kvartssand tillsätts här vattnet före munstycket till skillnad från metoden i fig 8.1 och 8.2 där slipmedlet tillsätts efter vattenmunstycket. Genom att tillsätta abrasiven före munstycket, vilket ger väsentligt bättre energiutbyte, kan trycknivån hållas på låga 300 bar.

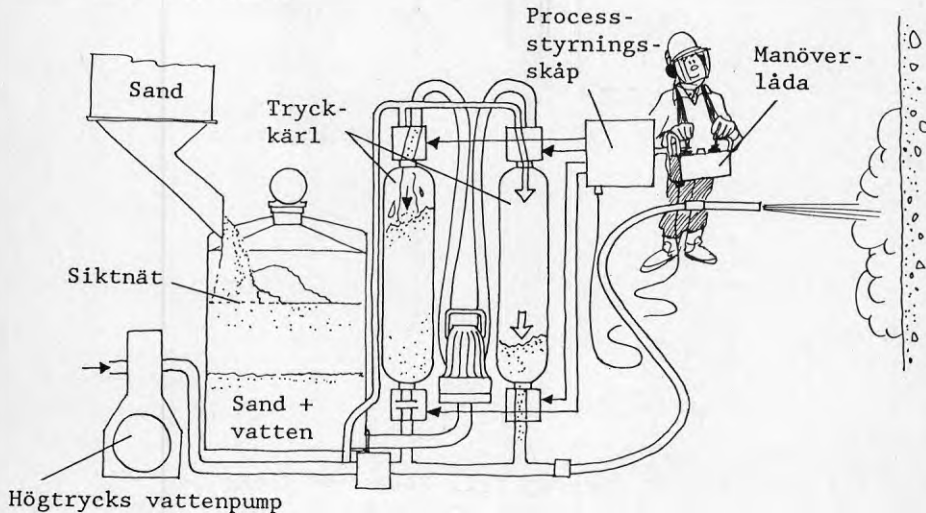


Fig 8.3 Vattenskärning - blåstring med slipmedel, Aquabrasivemetoden.

Vatten och slipmedel formas i ett munstycke till en fin stråle. Denna eroderar det material den träffar. Effekten av erosionen är beroende av bl a strålens fokusering och åkhastighet. Genom att föra strålen utmed en linje kan man åstadkomma ett skärnitt. Om man använder ett spridande munstycke fås en effektiv ytblästring.

Denna nya utrustning kallad Aquabrasive [27], [28] uppges vara lämplig för

- * skärning i väggar och bjälklag där krav ställs på låg bullernivå och frihet från vibrationer
- * skärning under vatten
- * skärning i explosiv miljö
- * blästring i dammkänslig miljö
- * blästring av t ex tunnelväggar och broundersidor som förberedelse för sprutbetong. Fig 8.4 visar exempel på bärare för utrustningen.

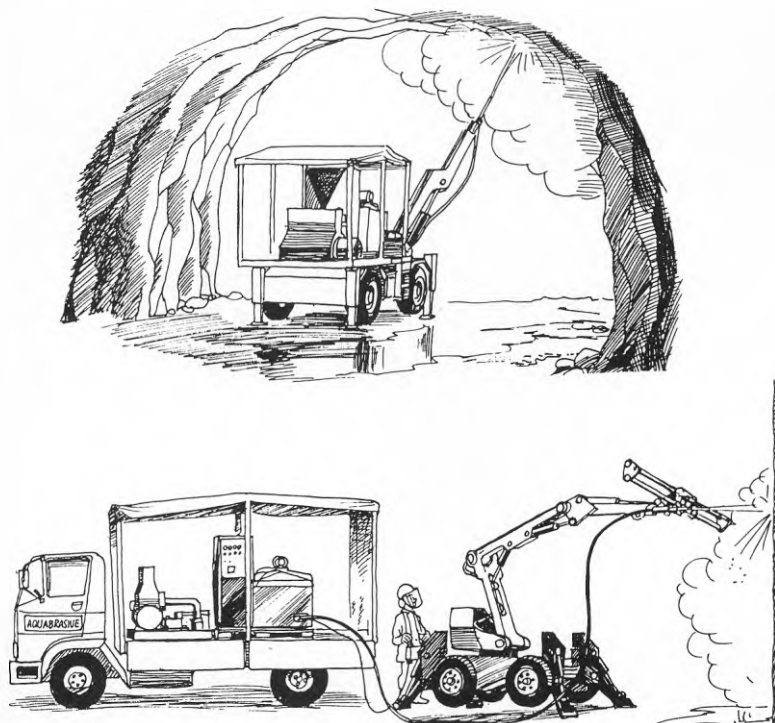


Fig 8.4 Exempel på bärare för våtsandsblästring i bergtunnel och på vägg.

Skärmetoden provades våren 1988 av NCC (ABV) vid rivning av en 60 cm tjock betongtrappa i den gamla T-banestationen Isstadion i Stockholm [29]. Utrustningen erfordrar ca 50 liter vatten och upp emot 8 kg kvarts-sand per minut.

REFERENSER

- [1] Kent Gustavsson: "Fogar i samverkande betongkonstruktioner med tunn pågjutning." Chalmers Tekniska Högskola, Konstruktionsteknik, Betongbyggnad. Rapport 81:7, Göteborg dec 1983, 111 sid.
- [2] Johan Silfwerbrand: "Effekter av differenskrämpning, krypning och fogytans egenskaper på bärformågan hos samverkanplattor av gammal och pågjuten betong." Institutionen för byggnadsstatik, KTH, Stockholm. Meddelande 1987 nr 147.
- [3] Johan Silfwerbrand: "Theoretical and experimental study of strength and behaviour of concrete bridge decks. Summary." Institutionen för byggnadsstatik, KTH, Stockholm. Meddelande 1987 nr 149.
- [4] Johan Silfwerbrand: "Samverkan mellan delvis nedbilad betongplatta och pågjutning. Balkförsök." Institutionen för byggnadsstatik, KTH, Stockholm. Meddelande 1984 nr 142.
- [5] Johan Silfwerbrand: "Differenskrämpning i samverkanbalkar av gammal och pågjuten betong." Institutionen för byggnadsstatik, KTH, Stockholm. Meddelande 1986 nr 144.
- [6] Erik Beck Hansen, Carlo Bolt Andersen, Jens Schmidt: "Vandstråleskaerning." Rapport 80.20, Svejsecentralen, Köpenhamn 1980, 64 sid.
- [7] Alf Öinert: "Högtrycksvattenstrålens möjligheter och begränsningar inom byggnadsindustrin." Rapport R92:1983 från Byggforskningsrådet, 27 sid.
- [8] "Snabbare, säkrare reparation av broar." Tidskriften Lufttrycket, nr 3, 1984, sid 4-5. Utgiven av Atlas Copco.
- [9] Göte Johansson: "Conjet - nu en väletablerad teknik." Tidskriften Lufttrycket, nr 3, 1985, sid 4-6.
- [10] S D Tayabji: "Effectiveness of the Conjet Concrete Removal System." Report of Jet Away Corporation (ABV), Seattle, Washington. Submitted by Construction Technology Laboratories. A division of the Portland Cement Association, Skokie, USA, April 1985, 32 pp.

- [11] S D Tayabji: "Bridge deck and garage floor scrafication by hydrojetting." Concrete International, May 1986, pp 43-48. Sammanfattning av [10].
- [12] Atlas Copco: Broschyrmaterial om Conjet.
- [13] Equipment for Hydro-Demolition, Conjet. For controlled removal of damaged concrete. Broschyrmaterial från Atlas Copco.
- [14] Ärlemo, Sondell, Johansson: "Broreparationer-vattenbilning." Statens vägverk, DDa-rapport 1985-01-10, 17 sid.
- [15] B-O Nilsson: "Betongbearbetningsutrustning för vertikala ytor." Statens vägverk. BDa-rapport 1987-10-12, 6 sid.
- [16] Lars Warlin: "Abrasive Jet - vattenskarning med slipmedel." Utlandsrapport från Sveriges Tekniska Attachéer, USA U1-8607, Stockholm sept 1986, 37 sid.
- [17] K Yanaida: "Flow Characteristics of Water Jets." 2nd Intern. Symp. on Jet Cutting Technology. BHRA Fluid Engineering, Paper No A2, 1974.
- [18] K Yanaida, A Ohashi: "Flow Characteristics of Water Jets in Air." 4th Intern. Symp. on Jet Cutting Technology. BHRA Fluid Engineering, Paper No A3, 1978.
- [19] K Yanaida, A Ohashi: "Flow Characteristics of Water Jets in Air." 5th Intern. Symp. on Jet Cutting Technology. BHRA Fluid Engineering, Paper No A3, 1980.
- [20] K Przyklenk, M Schlatter: "Simulation of the cutting process in water jetting with the finite element method." 8th International Symposium on the Jet Cutting Technology, Durham, England, Sept 9-11, 1986, pp 125-136.
- [21] Puchala, Lechem, Hawrylewicz: "Mass concrete removal by high pressure water jet." 8th International Symposium on Jet Cutting Technology, Durham, England, Sept 9-11, 1986, pp 219-229.
- [22] G Reh binder: "Some aspects on the mechanism erosion of rock with high speed water jets." Third International Symposium on Jet Cutting Technology, Chicago, USA, May 11-13, 1976.

- [23] H Ingvarsson, H Skalin: "Erfarenheter av vattentekniken vid broreparationer i Sverige." VTT Symposium 66 on Repair of Concrete Structures, Espoo, Finland 1985.
- [24] Magnus Mörnstad: "Reparation av broar." Byggentreprenörerna, Rapport 38, Stockholm 1986, 88 sid.
- [25] Hans Ingvarsson, Bosse Eriksson: "Hydrodemolition for Bridge Repairs." Nordisk Betong nr 2-3, 1988, sid 49-54.
- [26] Owen Andersson: "Att skära med vattenstråle. Smal nisch - brett utvecklingsområde." Tidskr. Verkstäderna, nr 4-89, sid 36-40.
- [27] "Abrasiv vattenteknik." Informationsmaterial från Aquabrasive AB, Stockholm 1988.
- [28] "Nu lönsamt skära med sandblandat högtrycksvatten i sten, betong och stål." Notis i Väg- och Vattenbyggaren nr 3, 1988, sid 56.
- [29] "Premiär för ny skärningsteknik intill Globen." Byggindustrin nr 13, 1988, sid 3.



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831430-6
från Statens råd för byggnadsforskning till ABV, numera
NCC Bygg AB, Malmö.**

Art.nr: 6709095

**Abonnemangsgrupp:
R. Bygandets ekonomi och
organisation
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna**

R95: 1989

ISBN 91-540-5106-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Cirka pris: 46 kr exkl moms