



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.

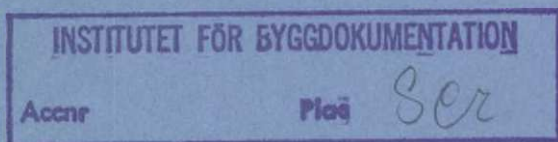


Rapport

R92:1983

Högtryckvattenstrålens möjligheter och begränsningar inom byggnadsindustrin

Alf Öinert



R92:1983

HÖGTRYCKVATTENSTRÅLENS MÖJLIGHETER OCH
BEGRÄNSNINGAR INOM BYGGNADSINDUSTRIN

Alf Öinert

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
810899-8 från Statens råd för byggnadsforskning
till Armerad Betong Vägförbättringar AB, ABV-
Teknik, Malmö.

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

R92:1983

ISBN 91-540-3998-3
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

FÖRORD	4
SAMMANFATTNING	5
1. INVENTERING	7
1.1 Vad är skärning med högtryckvattenstråle? ..	7
1.2 Utrustning	9
1.3 Vad utnyttjas skärning med högtryckvattenstråle till?	12
1.4 För- och nackdelar	13
1.5 Forskningsrapporter med anknytning till byggbranschen	13
1.6 Studiebesök	13
2. METODENS MÖJLIGA ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN I BYGGANDET	14
2.1 Användes skärning med högtryckvattenstråle i byggandet idag?	14
2.2 Vad kan man använda skärning med högtryckvattenstråle till i framtiden?	14
2.3 Utrustningen. Hur användes den? Hur måste den förbättras och anpassas?	16
2.4 Kostnader (Jämförelse med konventionella metoder)	22
2.5 Säkerhetsfrågor	24
2.6 Vem eller vilka sysslar med forskning och utveckling?	24
3. UTVECKLINGSMÖJLIGHETER	25
LITTERATUR	26

FÖRORD

Under senare år har tekniken att skära i olika material med högtryckvattenstråle blivit mer och mer känd sedan den fått praktiska tillämpningar i många industrier.

En naturlig fråga för byggfolk är:
Kan tekniken användas inom byggandet?

I denna förstudie försöker jag belysa möjligheten att använda denna teknik samt föreslå utvecklingsriktning för att nå byggnadsindustrins krav.

Civilingenjör Lars-Göran Nilsson har varit projektledare. Värdefulla synpunkter har lämnats av tekn.direktör Karl Elis Bowin, Armerad Betong Vägförbättringar AB, tekn.dr Göran Rehbinder, Statens Vattenfallsverk och ingenjör Martin Leidvik, M Leidvik Borr AB. Bilder har välvilligt ställts till förfogande av Flow Industries Inc., Seattle, USA.
Bidrag till projektet har erhållits från Statens råd för byggnadsforskning.

Malmö i juli 1982

Alf Öinert

SAMMANFATTNING

Principen för skärning med högtryckvattenstråle är att man pumpar upp ett mycket högt vattentryck (upp till 400 MPa) och släpper ut vattnet genom ett fint munstycke. Vattenstrålen användes till att skära olika material såsom kläder, gummi, läder, plast, glasfiber m fl tunna material.

Fördelarna är bl a att minimalt damm och materialspill erhålles samt att godtyckliga mönster kan skäras.

Utrustning anpassad till byggbranschen finns endast för några få tillämpningar.

Syftet med denna förstudie är att belysa andra möjliga användningsområden inom byggnadsindustrin.

Studiebesök har utförts hos Svejsecentralen i Köpenhamn och Flow Industries Inc., Seattle, USA. Därvid gavs tillfälle att ingående diskutera teknikens användbarhet i byggandet.

Tekniken användes i Sverige för jetinjektering av jord. Med hjälp av jetstrålen sköljes finkorniga marklager ur och cementslam injekteras. Pelare med stor diameter erhålles.

Högtryckvattenstrålar har också använts som hjälpmedel vid påslagning. Rengöring av hårt smutsade ytor är ett vanligt användningsområde.

Avsevärt forskningsarbete har lagts ned på skärning av berg med vattenstrålar. Effektbehovet för utrustningen är emellertid så stort att det torde bli mycket svårt att konkurrera med traditionell teknik.

Vattenstråleskärning i armerade betongbjälklag har utförts vid försök. Därvid användes abrasiva tillsatser (bl a sandkorn) som tillfördes vattenstrålen efter munstycket. Kommersiell utrustning för detta ändamål finns f n ej men kommer enligt uppgift att vara tillgänglig under 1983.

Kapaciteten vid skärning i ett 200 mm tjockt bjälklag av armerad betong är ca 25 mm per minut och munstycke. En utrustning med två munstycken fullt färdig att användas kan komma att kosta ca 0,6 Mkr. Avgörande är vilket tryck som erfordras för att skärkapaciteten skall bli tillräcklig. Utrustning för tryck på 400 MPa är dyr medan tryck på 100 MPa kan erhållas med en billigare utrustning.

Framtida försök får avgöra vilken typ av utrustning som är mest förmånlig.

Av en kostnadsjämförelse i rapporten mellan vattenstråleskärning och diamantsågning resp sömborring i ett 200 mm tjockt armerat betongbjälklag framgår att vattenstråleskärning är konkurrenskraftig vid upptagning av oregelbundna hål eller hål med krökta sidor. Även vid håltagning i betongväggar är vattenstråleskärning fördelaktig.

Ett annat viktigt användningsområde för högtryckvattenstrålen är borttagning av skadade betongskikt på brobanor, balkonger m m. Utrustning är ej färdigutvecklad men omfattande försök har utförts.

Säkerhetsfrågorna är mycket viktiga. Högtryckvattenstrålen ser ej farlig ut men felaktigt handhavd kan den utgöra en fara. Utrustningen måste därför skötas av en utbildad operatör.

Beträffande utvecklingsmöjligheter anser jag att följande punkter är mest intressanta:

- Undersökning av vilken typ av utrustning som är mest fördelaktig för att skära i betong. Försök utföres med utrustningar som bl a har olika arbetstryck.
- Trimming av åtgång av vatten och abrasiver för att minska effektbehovet.
- Förbättring av munstycket för abrasiver.
- Vidareutveckling av uppsamlingsutrustning som vid vattenstråleskärning suger upp materialrester samt vatten och abrasiver som förbrukats.

Ett sätt att utveckla den ovan beskrivna tekniken för svensk byggnadsindustris bästa är att ha en utrustning i produktion under svenska förhållanden. Det skulle i de första objekten sannolikt innebära en merkostnad jämfört med traditionell teknik men denna skulle kunna täckas av utvecklingspengar.

1. INVENTERING

1.1 Vad är skärning med högtryckvattenstråle?

Principen för skärning med högtryckvattenstråle är att man pumpar upp ett mycket högt vattentryck (vanligen upp till 400 MPa) och släpper ut vattnet genom ett fint munstycke. Vanliga diametrar är 0,10-0,50 mm. Man erhåller en tunn vattenstråle med mycket stor hastighet (upp till 2000 m/s).

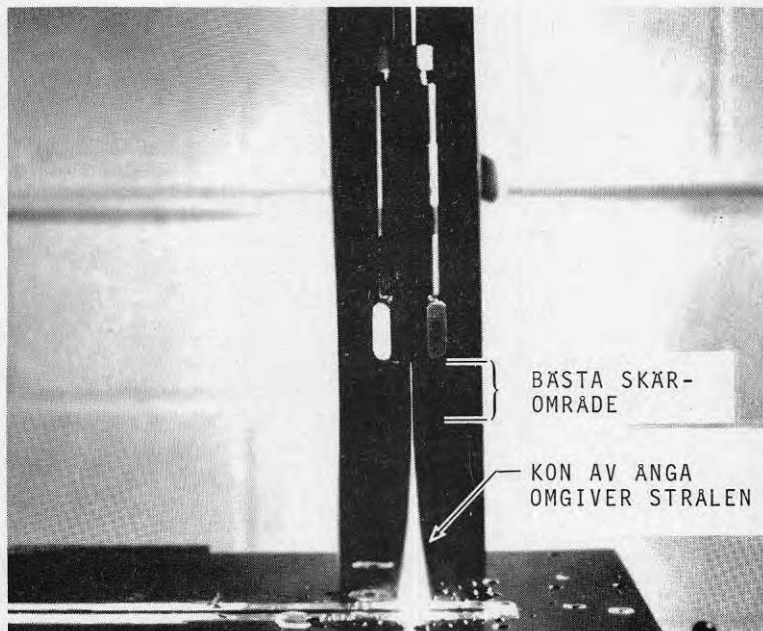


Fig. 1.1.1 Högtryckvattenstrålens uppbyggnad.
Safirmunstycke med diametern 0,20 mm.

Strålen har stor rörelseenergi och kan användas till att skära i olika material. Material som kan skäras lätt är antingen fibrösa, porösa, korniga eller mjuka. Glas är svårt att skära. Om metaller skall kunna skäras måste de vara i tunna folier.

Högtryckvattenstråle användes för skärning av papper, trä, plast, glasfiber, kläder m m. Även berg kan skäras med högtryckvattenstråle, se också sid 15.

Det dynamiska tryck som vattnet ger på det material som skall skäras bestäms av

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

där ρ är vattnets densitet och v är vattnets hastighet.

I allmänhet användes vanligt dricksvatten som skärvätska. För att öka strålens sammanhållning tillsättes ibland en liten mängd av en polymer med långkedjade molekyler.

Även finkorniga fasta partiklar, abrasiver, kan tillsättas för att åstadkomma bättre bearbetning vid skärning i hårt material.

Det finns olika principer för skärning med vattenstråle. Vattenstrålen kan vara kontinuerlig, diskontinuerlig, pulserande eller kaviterande.

a) Skärning med kontinuerlig vattenstråle

Vattenstrålen är sammanhängande. Skärningen orsakas av strålens kontinuerliga tryck.

b) Skärning med diskontinuerlig vattenstråle

Sedan vattenstrålen passerat munstycket brytes den under korta tidsintervaller t ex genom att ett metallföremål stänger av strålens väg. Strålen blir intermitterent.

Det dynamiska trycket är flera gånger högre än det kontinuerliga trycket men varaktigheten är bara några få mikrosekunder. Frekvensen av sammanstötningarna måste vara hög för att strålen skall kunna skära.

c) Skärning med pulserande vattenstråle

Vattentrycket varierar periodiskt. Skärningen orsakas av det höga dynamiska tryck som uppstår av de delar av vattenstrålen som strömmar genom munstycket vid högt tryck och hämtar in den långsammare delen av strålen. Vattenstrålen är sammanhängande. Utrustningen, som är av annan typ än den som beskrives i denna rapport, kallas ofta vattenkanon.

d) Skärning med kaviterande vattenstråle

Skärningen orsakas av att trycket i vattenstrålen lokalt sänkes till under ångtrycket. De skapade ångbubblorna brister vid sammanstötning med materialet varvid det lokalt omkring bubblorna uppstår ett mycket högt dynamiskt tryck.

Vattenstrålen är sammanhängande. Det dynamiska trycket är flera gånger större än det är möjligt att uppnå med både kontinuerlig och diskontinuerlig vattenstråle.

Av de olika formerna för skärning med vattenstråle är skärning med kontinuerlig stråle den i särklass vanligaste skärtekniken. Vid diskontinuerlig och pulserande stråle är utrustningen utsatt för stora påfrestningar. Vid kaviterande stråle är kraven på parameterinställningen stora och snittkvaliteten dålig.

1.2 Utrustning

De kommersiella utrustningarna för skärning med kontinuerlig vattenstråle arbetar med ett maximalt tryck på ca 400 MPa. (Se fig. 1.2.1).

En elektrisk motor på ca 30 kW driver en högtryckspump för olja som ges ett tryck av ca 15 MPa.

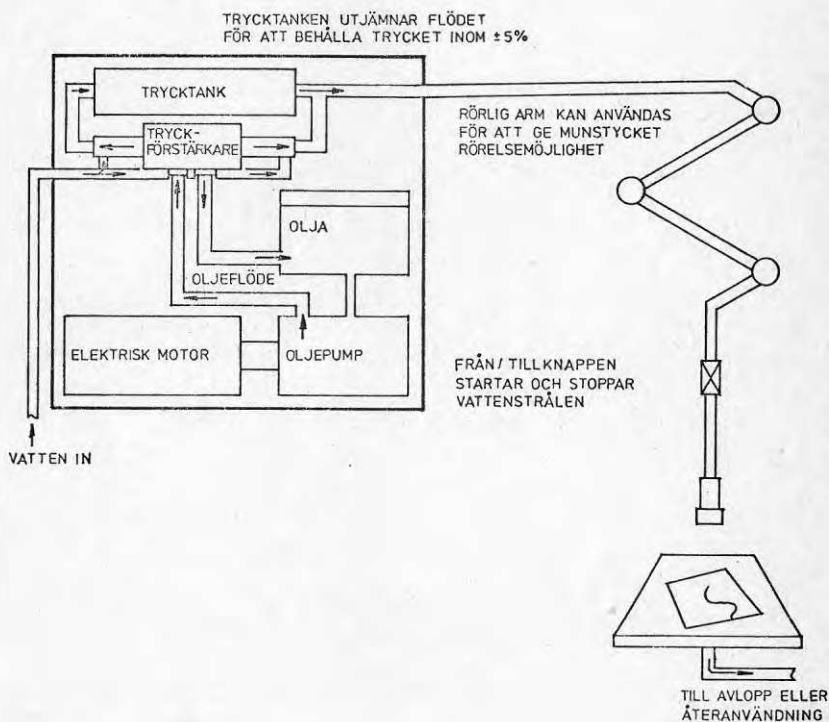


Fig. 1.2.1 Principschema

Oljan driver en tryckförstärkare (se fig. 1.2.2) som ger ett vattentryck som är 20 ggr oljetrycket.

Tryckförstärkaren fungerar så att oljetrycket verkar på en stor area av kolven och flyttar den åt vänster enligt fig. 1.2.2. Den betydligt mindre kolvarea som verkar på vattnet ger detta ett större tryck. Förhållandet mellan vatten- och oljetryck är detsamma som förhållandet mellan kolvareorna. När kolven når änden skiftas oljans flödesriktning och kolven rör sig åt höger och pumpar således på båda slagen. Vattentrycket kan regleras genom att oljetrycket regleras.

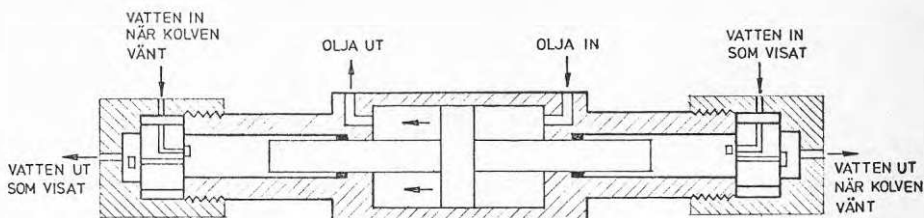


Fig. 1.2.2 Tryckförstärkare

För utjämning av vattentrycket användes en trycktank. På så sätt kan tryckets variation begränsas till $\pm 5\%$. Efter trycktanken finns också ett filter som hindrar smutspartiklar att nå munstycket.

Vattnet transporteras från pumpenheten till munstycket i metallrör. Dessa utföres ofta med slingor för att öka munstyckets rörlighet. Munstycket befinner sig några centimeter från arbetstrycket.

Munstycket har normalt en safirinsats som har ett hål med diametern 0,10-0,50 mm beroende på vilket material som skall skäras.

Arbetsstycket kan hållas stilla och munstycket rörligt, alt tvärtom eller en kombination av båda.

Det sista elementet i ett system för skärning med högtrycksvattenstråle är en vattenuppfångare som fångar upp strålen sedan den passerat genom arbetstrycket. En sådan är viktig av flera orsaker. För det första måste den exponerade längden av vattenstrålen hållas kort av säkerhetsskäl. För det andra undviker man genom att använda uppfångare det höga ljud som uppkommer när en vattenstråle bryts upp till droppar i luften.

Den enklaste formen av vattenuppfångare är ett rör som fångar upp vattenstrålen sedan den bearbetat materialet. Normalt behöver det vara 0,3-0,6 m långt för att dämpa ljudet effektivt.

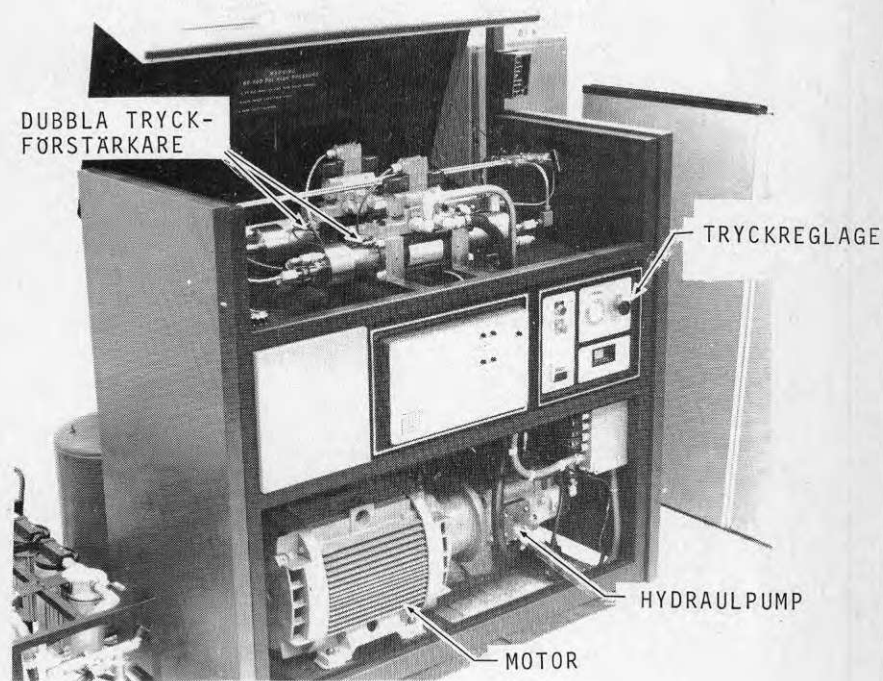


Fig. 1.2.3 Exempel på utrustning

Utomlands marknadsföres utrustningar med motoreffekter upp till 400 kW. Såväl elmotorer som bensin- eller dieseldrivna motorer förekommer.

1.3 Vad utnyttjas skärning med högtryckvattenstråle till?

Wellpappindustrin har använt skärning med vattenstråle i många år. Kantskärning och delning av material som passerar förbi är en av de enklaste tillämpningarna för tekniken. Wellpappen kan skäras med stor hastighet, ca 200 m/min utan uppspaltning av de olika lagren. I och med att dammbildningen är minimal behöver övriga installationer i lokalen t ex tryckeriutrustningen längs bandet inte rengöras så ofta.

Den skurna kantens kvalitet är mycket bättre än vid mekanisk skärning. Därmed motverkas att det hänger upp sig i matar-anordningar vid kartongtillverkningen.

En annan viktig tillämpning är skärning av glasfiberväv. Skarpa kanter kan erhållas.

Glasullsindustrin använder skärning med högtryckvattenstråle.

En svensk glasullstillverkare har 8 utrustningarmed vardera 3-5 munstycken i sin produktionslinje. Med vattenstrålar av diametern 0,17 mm kantskäres och delas glasullen. Trots vattnets höga hastighet blir vattenmängden ej så stor eftersom strålen är så tunn. Därmed vätes ej glasullen nämnvärt. En stor fördel är att inget luftburet damm uppstår. Den mycket låga bullernivån är en annan fördel.

Formskärning är ett område där skärning med vattenstråle har flera tillämpningar. Alla former oberoende av radier för verktygets rörelse kan skäras.

Exempel på vanliga användare är sko- och konfektionsindustrin samt rymdindustrin. Metoden är lämplig för kläder, gummi, läder, plast, glasfiber, kolfiber, asbest, tunnt trä och andra tunna material.

En svensk tillämpning är skärning av pussel från plywood med påklistrat papper.

1.4 För- och nackdelar

Fördelarna med högtryckvattenstrålen är, inom de områden där metoden används för närvarande, bl a:

- Den ger minimalt damm
- Den kan skära med hög hastighet och i mönster som är svåra att erhålla på annat sätt
- Minimalt materialspill erhålles
- Skarpa kanter, d v s god precision kan erhållas
- Den är en ren metod som kan användas i sammanhang där de hygieniska kraven är stora
- Inga märken efter det skärande verktyget uppstår

Nackdelarna är bl a:

- Utrustningen är förhållandevis dyr

1.5 Forskningsrapporter med anknytning till byggbranschen

Vartannat år hålles ett symposium om "Jet Cutting Technology", vilket är den engelska benämningen på tekniken, där representanter för institutioner och företag håller föredrag om forskningsrön. En sammanfattning ges ut från varje symposium av BHRA (British Hydromechanics Research Association).

Flera intressanta artiklar med anknytning till byggbranschen finns i dessa, se [3], [4] och [5].

I en nyutkommen bok [1] ges en förnämlig sammanställning över vad som har skrivits om högtryckvattenstråle.

1.6 Studiebesök

Studiebesök har utförts hos Svejsecentralen i Köpenhamn samt Flow Industries Inc., Seattle, USA.

På Svejsecentralen studerades vattenstråleskärning av tegel och masonite. Tekniken diskuterades med representanter för Svejsecentralen.

Flow Industries tillverkar utrustning för vattenstråleskärning. Hittills har ca 250 utrustningar levererats. Man har också en egen utvecklingsavdelning.

Hos Flow Industries studerade jag borring med högtryckvattenstrålar i sandsten samt skärning av armerad betong med högtryckvattenstråle och abrasiva tillsatser.

Tekniken att skära betong samt erforderlig utrustning diskuterades ingående med representanter för Flow Industries.

2. METODENS MÖJLIGA ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN I BYGGANDET

2.1 Användes skärning med högtryckvattenstråle i byggandet i dag?

Om man bortser från byggmaterialindustrin användes ej skärning med högtryckvattenstråle inom byggandet. Däremot användes högtryckvattenstråle för andra ändamål än skärning.

Ett område är jetinjektering av jord.

Metoden går ut på att man med en jetstråle av luft och vatten sköljer ut sandiga och finkorniga marklager och stabiliserar eller förstärker dessa med cementslam. Ett hål med diametern 100 mm borras. Därefter lyfts långsamt det roterande jetmunstycket, som samtidigt spolar sönder omgivande marklager. Dessa förstärks successivt med injekterad cementvälling så att slutresultatet blir en cirkulär plint eller påle med en tryckhållfasthet av 1-5 MPa.

Ett nystartat företag, "Jetgrund AB" i Uppsala har licensrättigheterna för Norden för denna japanska grundläggningsmetod. Jfr [5] .

En annan tillämpning av högtryckvattenstråle är påslagning. Stålpålar eller spont förses med munstycken nära pålspetsen. En tyngd appliceras på pålen varvid den sjunker under det att en diskontinuerlig högtryckvattenstråle bearbetar jorden vid pålspetsen. Utrustning saluförs i Japan. [3]

Från ben till oljeplattformor som står i Nordsjön avlägsnas sjögräs och snäckor så att tidvattnet ej skall orsaka för stor horisontalkraft på konstruktionen. [3]

För rengöringsändamål användes dagligen utrustningar som ger ett högt vattentryck, max 100 MPa. Trycket åstadkommes med en kolvpump av högtryckstyp. Med eller utan sandtillsats rengöres hårt smutsade eller svåråtkomliga ytor i industrin.

2.2 Vad kan man använda högtryckvattenstråle till i framtiden?

Utvecklingen inom tekniken att skära i betong med högtryckvattenstråle har varit snabb de senaste åren och det är troligt att det händer mycket inom detta område de närmaste åren.

Möjliga användningsområden är:

- a) Rensning av ytor med dålig betong för reparationer av betongkonstruktioner med ytor som skadats av t ex salt eller brand. Ex brodäck, kantbalkar på broar, balkonger.
- b) Rensning av ytor med radioaktiv betong t ex vid rivning av kärnkraftverk.

c) Håltagning i betongbjälklag och betongväggar.

Stålbalkar och ca 20 mm tjocka stålplåtar kan skäras effektivt med vattenstråle och abrasiva tillsatser. Det torde dock inte vara möjligt att konkurrera kostnads- mässigt med t ex skärbrännare.

En intressant tillämpning är att skära stål i explosiv miljö. Med speciella abrasiva tillsatser kan man skära stål i explosiv miljö med mycket låg explosionsrisk. Ut- rustning för offshoreindustrin är under tillverkning.

Eftersom tekniken med abrasiva tillsatser är relativt ny har man inte gjort försök att skära i tegel. Det har gjorts en bedömning att man i jämförelse med armerad betong kan skära en dubbelt så tjock tegelvägg med samma hastighet.

Byggnadskonstruktioner av trä och gips kan skäras effektivt med vattenstråle utan abrasiva tillsatser. Det skulle dock bli alltför dyrbart i jämförelse med andra metoder vid traditionella tillämpningar.

Det har forskats mycket om skärning av berg med vattenstråle. Vattenstråleborrar har konstruerats som borrar effektivt i de flesta bergarter. (Se fig. 2.2.1). Det är emellertid svårt att konkurrera med traditionell borrhsteknik eftersom kapitalkostnaderna för en utrustning för vattenstråleborring är så stora. Detta är till viss del beroende på att effektbehovet för vattenstråleutrustningen är så stort. [1] , [3] , [4] , [5] .

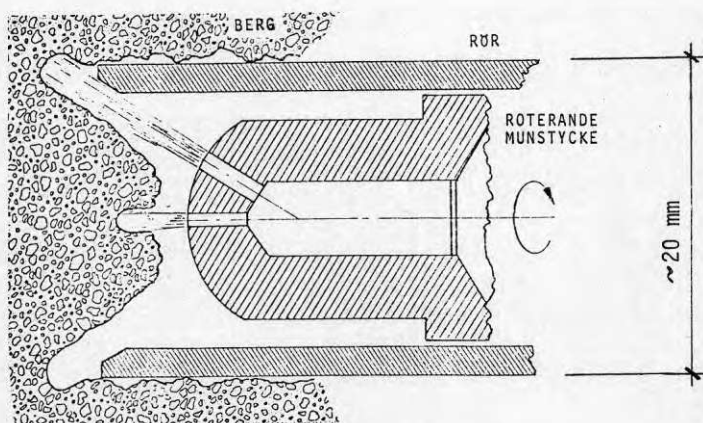


Fig. 2.2.1 Borrning med högtryckvattenstråle.

Tunnelborring i sandsten med fullortsmaskin kompletterad med munstycken för vattenstråleskärning har utförts på försök. Ett speciellt skärhuvud utformades efter omfattande laborieförsök. Borrningens hastighet kunde fördubblas men den erforderliga effekten var flera gånger så stor som för en maskin utan vattenstråleskärning. [3]

2.3 Utrustningen. Hur användes den? Hur måste den förbättras och anpassas?

Utrustning alt 1

För rensning eller skärning av betong måste man ha en mobil utrustning. Den skall fungera i princip enligt 1.2 men tillförsel av fasta partiklar, s k abrasiver, skall kunna ske. Se fig 2.3.1. Storleken på dessa skarpkantade korn bör vara 1-2 mm. Billigast är att använda sand i nämnd fraktion.

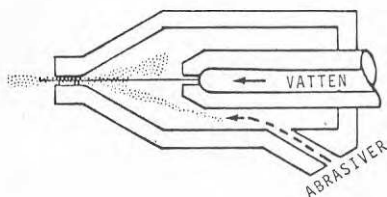


Fig. 2.3.1 Munstycke för abrasiver

Komplett utrustning för de användningsområden som beskrivits i 2.2 för armerad betong finns för närvarande inte.

Förslag till utrustning följer nedan:

Utrustningen består av två enheter.

Enheten med motor, hydraulisk pump och tryckförstärkare (se fig 2.3.2) finns att köpa nu. Den väger 3 ton. Dess ram monteras på hjul så att den kan dragas efter en lastbil.



Fig. 2.3.2

Den andra enheten består av tank för vatten, tank för abrasiva tillsatser, utrymme för förvaring av slangar och stativ för den skärande utrustningen. Även denna enhet skall kunna dragas efter en lastbil.

Data om högtrycksutrustningen:

Erforderlig motorstyrka:	120 kW
Motortyp:	El, bensin el diesel
Antal munstycken:	2
Diameter munstycken:	0,8 mm
Vattentryck:	200 MPa
Vattenförbrukning:	15 l/min och munstycke
Förbrukning av abrasiva tillsatser:	3 kg/min och munstycke
Typ av abrasiva tillsatser:	Sand, 1-2 mm
Pris:	ca 500.000:--*
Kostnad för drift och underhåll:	ca 100:--/tim
Pris abrasiva tillsatser:	ca 250:--/ton
Erforderlig arbetskraft:	1 person

* till detta kommer kostnad för slangar, stativ, behållare för vatten, behållare och frammatningsanordning för abrasiva tillsatser ca 100.000:--.

Utrustning alt 2

För arbetsmomentet skärning av betong med tillsats av abrasiver erfordras ej det höga tryck som utrustningen enligt alt 1 kan ge. Med en kolvpump av högtryckstyp kan man arbeta med ett tryck av 100 MPa.

De få försök som gjorts att skära betong med denna typ av utrustning är ej tillräckliga för att bestämma utrustningens kapacitet. Troligen är den endast något lägre än för utrustningen enligt alt 1.

Priset är ungefär hälften i jämförelse med alt 1.

Utrustningen kan användas för exempel 1-3 nedan men ej för exempel 4.

Exempel 1

Håltagning 400 x 500 mm² i ett armerat betongbjälklag med tjockleken 200 mm på 3:e vån i ett hus

Högtrycksutrustningen enligt alt 1 placeras på gatan nedanför den plats där håltagningen skall ske.

Ett stativ som håller munstyckena (se fig 2.3.3) placeras på bjälklaget. Böjlig högtrycksslang förbinder munstyckena med högtrycksutrustningen. Parallellt går en slang för abrasiva tillsatser. Två munstycken användes.

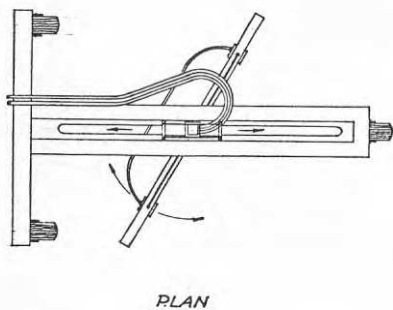
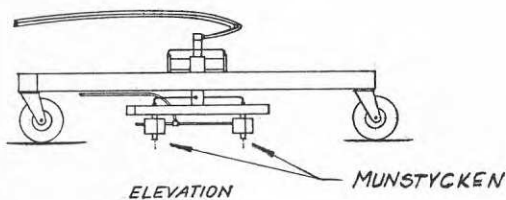


Fig. 2.3.3 Stativ med rörlig arm som håller munstyckena. Parallella eller cirkulära snitt kan skäras.

Två parallella sidor i håltagningen utföres först.

Munstyckena ges en konstant hastighet ca 25 mm/min. Därvid erfordras endast en överfart.

När de två slitsarna (ca 8 mm breda) är klara göres ny inställning för de två återstående parallella sidorna.

Total tidsåtgång för arbetsmomentet håltagning blir ca 40 min.

Exempel 2

Upptagning av ett cirkulärt hål \emptyset 1000 mm i samma bjälklag som ovan

En stor fördel med vattenstråleskärning är att håltagningens form kan vara godtycklig.

Med det enkla stativ som beskrivits ovan kan cirkulära hål utföras.

Tidsåtgången för hålet enligt ovan blir med utrustning enligt alt 1.

$$T = \frac{1000 \cdot \pi}{2 \cdot 25} = 63 \text{ min}$$

Exempel 3

Håltagning i en armerad betongvägg

Samma utrustning som för bjälklag användes men stativet som håller munstyckena utföres annorlunda. Se fig. 2.3.4.

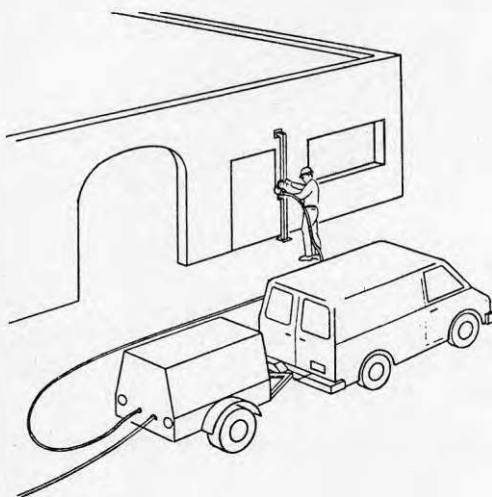


Fig. 2.3.4 Håltagning i en betongvägg. Vatten erhålles från en brandpost varför vattentank ej erfordras i detta fall. Högtrycksutrustningen är kopplad efter ett fordon som rymmer tank för abrasiver, slangar, stativ m m.

Exempel 4Borttagning av ett skadat betongskikt på en brobana
(övre ca 40 mm. Skadorna uppträder fläckvis

Samma mobila enheter som beskrivits under 2.3 användes. De drages efter en lastbil som stannar i närheten av en skadad fläck.

En handhållen utrustning enligt fig. 2.3.5 kopplas till högtrycksenheten.

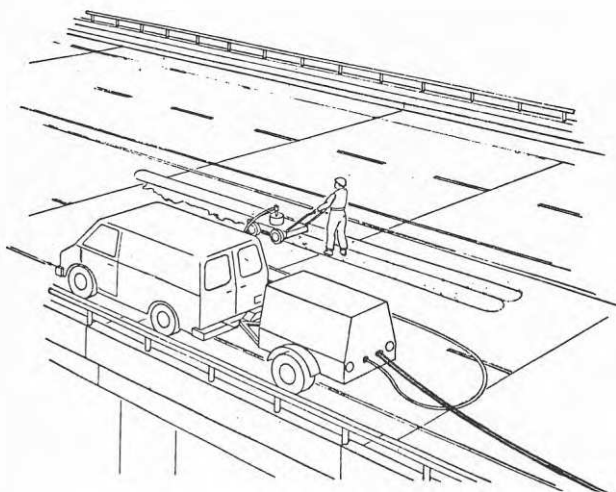


Fig. 2.3.5 Borttagning av ett skadat betongskikt på en brobana.

Under dess kåpa sitter tre munstycken för vatten (abrasiva tillsatser användes ej) som rör sig fram och tillbaka och bildar ett mönster enligt fig. 2.3.6.

Flera andra rörelsemönster för munstyckena är tänkbara men det berörs ej här.

De skadade fläckarna rengöres från skadad betong ned till armeringsjärnen. Då abrasiva tillsatser ej användes påverkas ej armeringsjärnen.

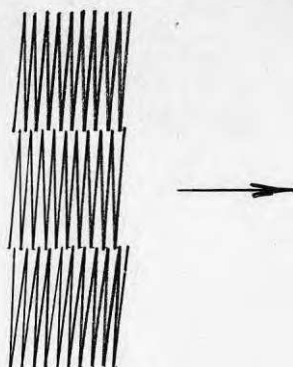


Fig. 2.3.6

I jämförelse med bilning har metoden med högtryckvattenstrålar bl a följande fördelar:

1. Sprickor i betongen förlängs ej.
2. Om armeringen har rostet försvinner det mesta av rosten.
3. Det skikt som borttages har konstant tjocklek. Vid bilning försvinner mer betong på vissa ställen varför mer betong erfordras vid lagningen.
4. Problemen med vibrationer och damm finns ej.

Systemet kan kompletteras med utrustning som suger upp de bortspolade betongresterna samt vattnet.

Om skadorna uppträder över hela broytan är det bättre att använda en utrustning som drages efter lastbilen och täcker av ett bredare område.

En förutsättning är då att lastbilen kan framföras med en konstant låg hastighet vilket ej är fallet med en vanlig lastbil.

Även skikt av andra material, t ex asfalt, kan avlägsnas på detta sätt.

2.4 Kostnader

Nedan följer en kostnadsjämförelse mellan vattenstråleskärning med utrustningen enligt 2.3, alt 1 och diamantsågning resp sömborrning med diamantborr. Viktigt i sammanhanget är att utrustningen enligt 2.3 ännu ej är använd.

Kostnadsjämförelse mellan vattenstråleskärning och diamantsågning för exempel 1 enligt sid 18

Kostnader för vattenstråleskärning

Förutsättningar:

Pris utrustning alt 1 enligt 2.3:	600.000:--
Ränta:	17%
Avskrivning:	5 år
Arbetskraft:	1 person
Uthyrarens pålägg för administration och vinst:	25% av kapitalkostn som är 222.000:--/år

UTNYTTJ.- GRAD	KAPITAL- KOSTNAD	DRIFT- OCH UNDERHÅLL	ARBETS- KRAFT	PALÄGG FÖR ADM OCH VINST	TOTAL KOSTN
tim/år	kr/tim	kr/tim	kr/tim	kr/tim	kr/tim
250	888	100	100	222	1.310
500	444	100	100	111	755
750	296	100	100	74	570
1000	222	100	100	56	478
1250	178	100	100	44	422
1500	148	100	100	37	385

Tabell 2.4.1

Antag att arbetsplatsen är belägen 10 mil från uthyrningsstället och att utrustningen användes kontinuerligt under en vecka.

För transporter åtgår 4 tim, uppställning och förflyttningar 5 tim, service 1 tim. Med 40 timmars arbetsvecka fås då 30 tim effektiv tid för skärning.

Kostnad för en håltagning $400 \times 500 \text{ mm}^2$ i ett 200 mm tjockt armerat betongbjälklag (se ex 1) fås om utrustningen förut-sättes utnyttjad 1250 tim per år. (Se tabell 2.4.1).

$$K = \frac{40}{60} \cdot 422 \cdot \frac{40}{30} = 375:--$$

För håltagning i vägg blir kostnaden densamma.

Kostnader för diamantsågning

Med diamantsåg sågas ca 4 m/tim i ett 200 mm tjockt betongbjälklag.

Tidsåtgången för håltagningen i bjälklaget enligt ovan blir med tillägg för erforderlig sågning utanför håltagningen.

$$T_1 = (2 \cdot 0,70 + 2 \cdot 0,60) \cdot 1/4 = 0,65 \text{ tim}$$

Kostnaden blir om en etableringskostnad på 400:-- och en kostnad på 110:-- per meter antages.

$$K_1 = (2 \cdot 0,70 + 2 \cdot 0,60) \cdot 110 + \frac{0,65}{30} \cdot 400 = 295:--$$

För en lika stor håltagning i en 200 mm tjock betongvägg med diamantsåg är kapaciteten 1 m/tim. Tidsåtgången för håltagningen blir då:

$$T_2 = (2 \cdot 0,70 + 2 \cdot 0,60) \cdot 1 = 2,6 \text{ tim}$$

Kostnaden blir med en etableringskostnad på 400:-- och en sågningskostnad på 410:-- per meter.

$$K_2 = (2 \cdot 0,70 + 2 \cdot 0,60) \cdot 410 + \frac{2,6}{30} \cdot 400 = 1.100:--$$

Kostnadsjämförelserna enligt ovan tyder alltså på att vattenstråleskärning med här föreslagen utrustning är något dyrare än diamantsågning vid traditionell håltagning i bjälklag men mycket billigare än diamantsågning vid håltagning i vägg.

Kostnadsjämförelse mellan vattenstråleskärning och sömborrning för exempel 2 enligt sid 19Kostnader för vattenstråleskärning

Med förutsättningar enligt tidigare fås för vattenstråleskärning

$$K = \frac{63}{60} \cdot 422 \cdot \frac{40}{30} = 590:--$$

Kostnader för sömborrning

Med sömborrning erfordras 33 hål med borrhastighet 1,30 m/tim antages.

$$T = \frac{33 \cdot 0,20}{1,30} = 5,1 \text{ tim}$$

Med kostnaden 3,50:-- per borrhastighet centimeter och etableringskostnaden 400:-- fås

$$K = 33 \cdot 20 \cdot 3,50 + \frac{5,1}{30} \cdot 400 = 2.310 + 70 = 2.380:--$$

Slutsatsen för detta exempel blir att vattenstråleskärning mycket väl kan konkurrera med sömborrning.

Kostnadsjämförelse mellan vattenstråleskärning och bilning vid avlägsnande av ett skadat betongskikt på en brobana. Se ex 4 sid 20

Det har ej varit möjligt att få fram uppgifter för att göra en kostnadsjämförelse. Det framgår av bl a en artikel i [4] (paper C2) att rensning med vattenstrålar kan vara en ekonomisk metod som också ger ett bra resultat. Med en utrustning på 82 kW lyckades man rensa 1,13 m²/tim. För olika typer av bilningsutrustning redovisas kapaciteter på 0,46-0,57 m²/tim. Effektbehovet för dessa varierade mellan 75 och 193 kW.

2.5 Säkerhetsfrågor

Säkerhetsfrågorna är mycket viktiga. En fara är att vattenstrålen inte ser farlig ut. Det kan vara lockande att känna på den vilket inte gäller för t ex en bandsåg.

Det är nödvändigt att utrustningen skötes av en operatör som utbildats även i säkerhetsfrågor.

Säkerhetsavståndet sedan strålen gått igenom t ex ett bjälklag är ca 0,5 m. Därefter upplöses strålen mer och mer och blir duschliknande.

Om håltagning skall ske genom en vägg kan ett varnande skydd sättas på baksidan av väggen.

2.6 Vem eller vilka sysslar med forskning och utveckling?

Forskning och utveckling sker såväl vid universitet och högskolor som hos tillverkare av utrustning.

Av tillverkarna satsar Flow Systems Inc. i USA på skärning av betong genom tillsats av abrasiver och har för avsikt att ha utrustning för håltagning i armerade betongväggar och betongbjälklag klara för försäljning under 1983.

BHRA (British Hydromechanic Research Association) har under försök lyckats skära igenom 700 mm tjock armerad betong med högtryckvattenstråle och abrasiva tillsatser.

Vartannat år anordnar BHRA ett symposium, jfr sid 13.

3. UTVECKLINGSMÖJLIGETER

Forskning inom tekniken att skära med högtryckvattenstråle har pågått i 20 år. En mängd forskningsresultat har publicerats. Tekniken att tillsätta abrasiver är dock relativt ny. Här tror jag en förbättring kan göras.

Eftersom den i 2.3 under alt 1 beskrivna utrustningen (med arbetstryck upp till 400 MPa) är en utveckling av de försök som gjorts med abrasiv vattenstråleskärning är det svårt att nu ange hur den skulle kunna förbättras.

En nackdel med utrustningen är att den är stor och tung. Med dagens kunnande är det dock orealistiskt att tro att det går att göra den nämnvärt lättare. Troligen kan man dock trimma utrustningen så att förbrukningen av vatten och abrasiver kan minskas. Detta skulle kunna innebära att den erforderliga effekten skulle minska något varmed utrustningen skulle kunna göras något mindre.

Utrustningen enligt 2.3 alt 2 (med arbetstryck upp till 100 MPa) är intressant eftersom den ej är så dyr. Dessutom är den relativt lätt tillgänglig i Sverige varför problemet med en hög utnyttjandegrad för att hålla ned timkostnaden ej gäller denna utrustning. Dess skärkapacitet måste undersökas. Därvid är det viktigt att testa lämplig kombination av flöde för vatten och abrasiver.

För båda utrustningarna gäller att munstycket för abrasiver (se fig 2.3.1) behöver förbättras. Slitaget är för stort för närvarande.

Vid borttagning av skadade betongskikt har försök gjorts att suga upp betongrester och förbrukat vatten. Resultatet blev att 98% av betongrester och vatten kunde sugas upp. Med en något modifierad utrustning kan troligen ännu bättre resultat nås.

Sammanfattningsvis anser jag att följande utvecklingsmöjligheter finns:

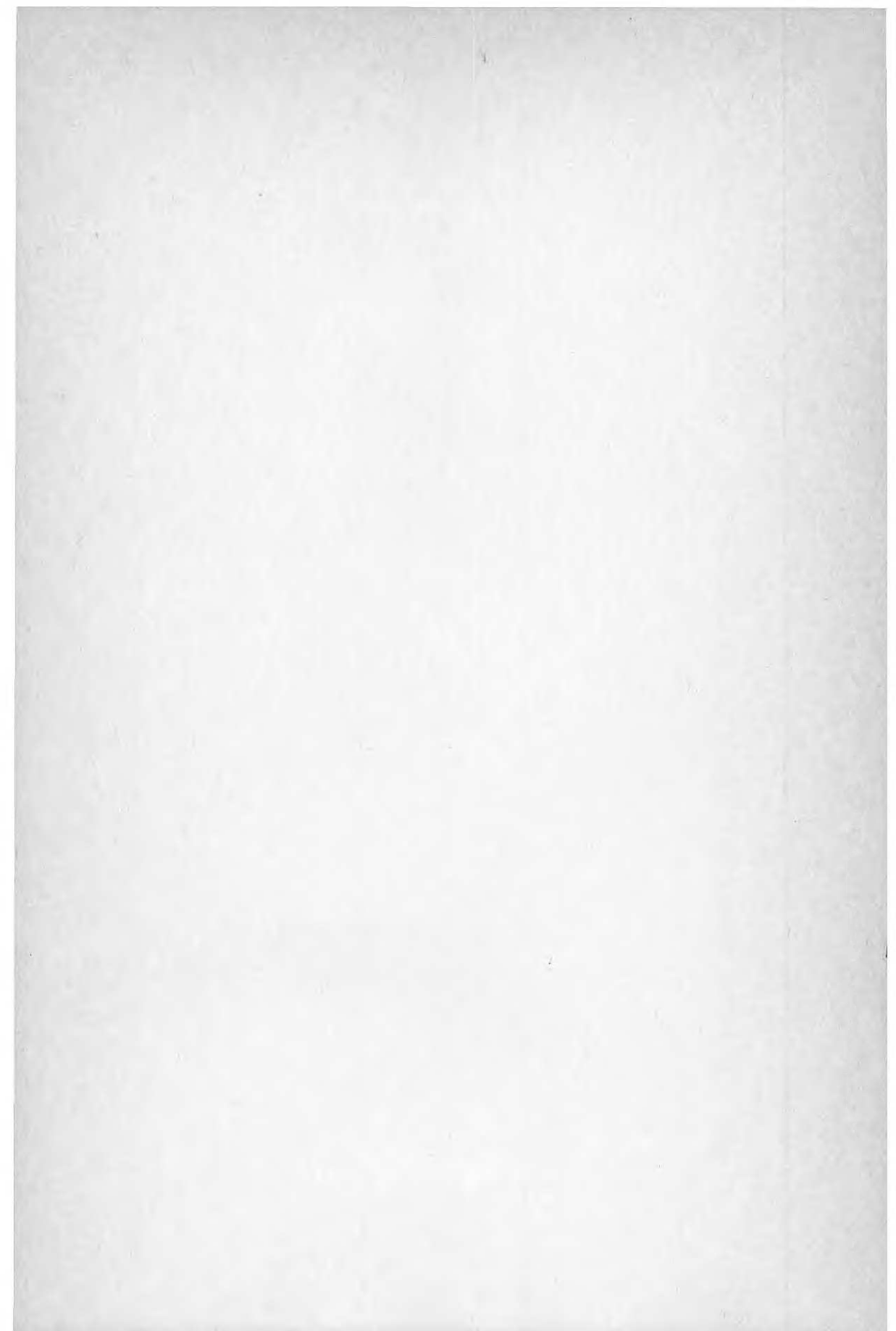
- Undersökning genom försök med utrustningar enligt alt 1 och 2 ovan vilken typ av utrustning som är mest fördelaktig för att skära i betong.
- Trimning av åtgång av vatten och abrasiver för att minska effektbehovet.
- Förbättring av munstycket för abrasiver.
- Vidareutveckling av uppsamlingsutrustning som vid vattenstråleskärning suger upp materialrester samt vatten och abrasiver som förbrukats.

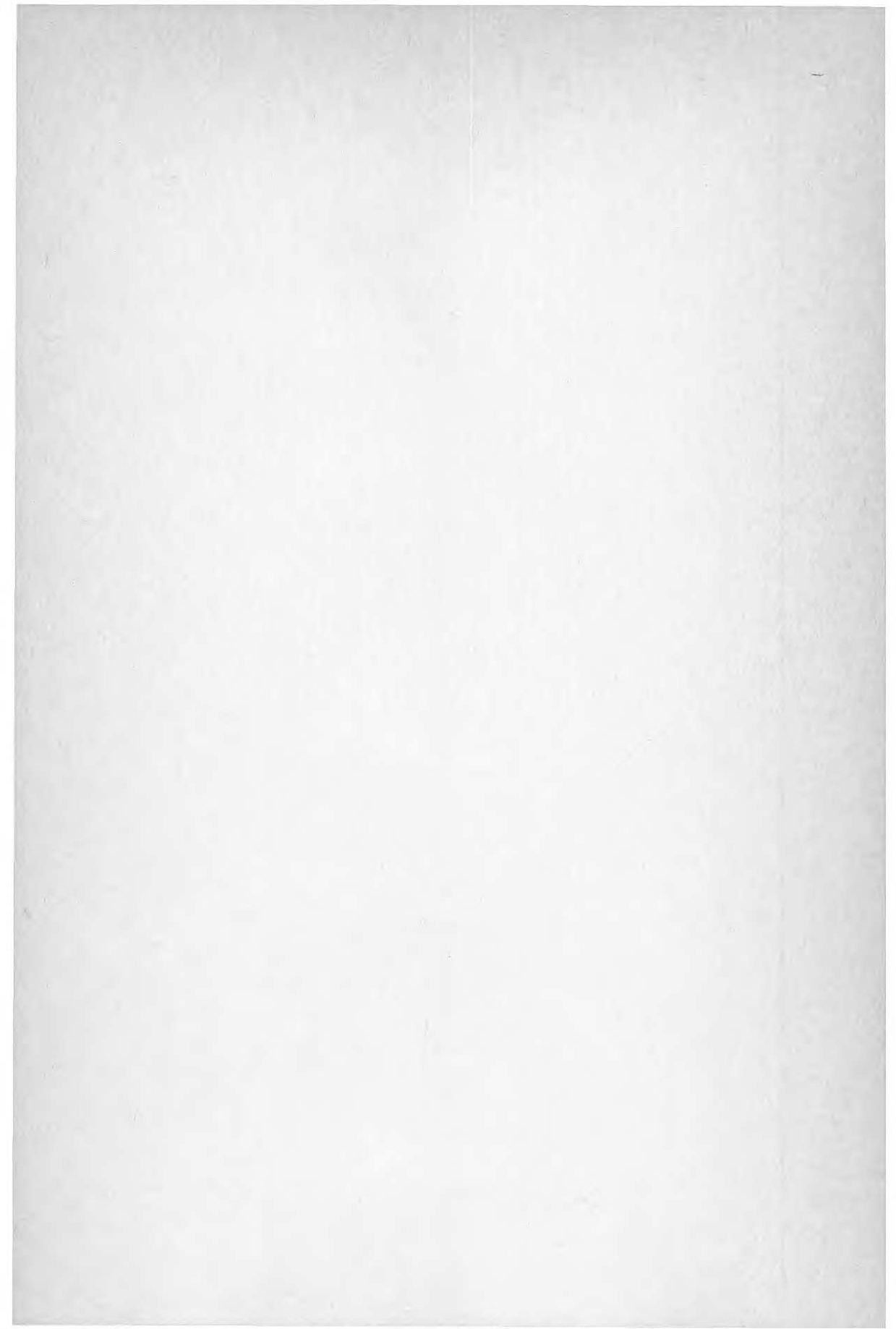
Ett sätt att utveckla den ovan beskrivna tekniken för svensk byggnadsindustris bästa är att under en period ha en utrustning i produktion under svenska förhållanden. Det skulle i de första objekten sannolikt innebära en merkostnad jämfört med traditionell teknik varför denna verksamhet skulle behöva finansiellt stöd.

LITTERATUR:

- [1] Brown, R.: Jet Cutting Technology, a review bibliography. BHRA, 1982.
- [2] Richardsson, C.A. och Thornton, W.A.: Jet Cutting Technology, a Bibliography BHRA, 1973.
- [3] Proceedings of the 4th International Symposium on Jet Cutting Technology, BHRA, 1978.
- Veenhuizen, S.D., Cheung, J.B. och Hill, J.R.M.: Waterjet drilling of small diameter holes. (paper C3).
- Summers, D.A., Lehnhoff, T.F. och Weakly, L.A.: The development of a water jet drilling system and preliminary evaluations of its performance in a stress situation underground. (paper C4).
- Vijay, M.M. och Brierley, W.H.: Cutting rocks and other materials by cavitating and non-cavitating jets. (paper C5).
- Odds, D.J.H.: Water Jetting Under the North Sea. (paper H3).
- Hoshino, K., Hagihara, M., Shikata, S. och Yamanati, Y.: 750 kW Water Jet Pump for Pile Driving. (paper H5).
- Yie, G.G., Burns, D.J. och Mohaupt, U.H.: Performance of a High-Pressure Pulsed Water-Jet Device for Fracturing Concrete Pavement. (paper H6).
- Henneke, J. och Baumann, L.: Jet assisted tunnelboring in coal-measure strata. (paper J1).
- [4] Proceedings of the 5th International Symposium on Jet Cutting Technology, BHRA, 1980.
- Baumann, L. och Henneke, J.: Attempt of technical-economical optimization of high pressure jet assistance for tunneling machines. (paper C4).

- Reichman, J.M., Kirby, M.J. och Rodenbaugh, T.J.: The Development of a Water Jet Cutting System for Trenching in Concrete. (paper D1).
- Hilaris, J.A. och Bortz, S.A.: Field Study for a Highway Maintenance Application of Jet Cutting Technology. (paper D3).
- Yahiro, T., Yoshida, H. och Nishi, K.: Sheet piles driving and H-steel pulling by high speed water jets. (paper D4).
- [5] Proceedings of the 6th International Symposium on Jet Cutting Technology, BHRA, 1982.
- Krüner, D., Wiedemeier, J. och Louis, H.: Safety aspects of jet cutting. (paper D2).
- Vijay, M.M., Brierley, W.H. och Grattan-Bellew, P.E.: Drilling of rocks with rotating high pressure water jets. Influence of rock properties. (paper E1).
- Plumpton, N.A. och Tomlin, M.G.: The development of a water jet system to improve the performance of a boom type roadheader. (paper G1).
- Yahiro, T., Yoshida, H. och Nishi, K.: Soil improvement method utilizing a high speed water and air jet. On the development and application of columnar solidified construction method. (paper J2).
- Hashish, M.: The Application of Abrasive Jets to Concrete Cutting. (paper K2).
- Hashish, M.: Steel Cutting with Abrasive Water Jets. (paper K3).
- Saunders, D.: A safe method of cutting steel and rock in hazardous atmospheres. (paper K5).
- [6] Reh binder, Göran: Skärning av berg med vattenstråle. Byggnadsindustrin nr 39, 1977.
- [7] Leidvik, Martin: Skärning av betong genom högtrycks-spolning med vatten. Byggnadsindustrin nr 19, 1976.
- [8] Hansen, E.B., Andersen, C.B., Schmidt, J.: Vandstråle-skaer ning. Undersøgelse af luftforurening, støj og sikkerhed. Svejsecentralen, Köpenhamn, 1980.
- [9] Olsen, J.H.: Cutting by Waterjet, Flow Industries, Inc. 1980.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
810899-8 från Statens råd för byggnadsforskning
till Armerad Betong Vägförbättringar AB,
ABV-Teknik, Malmö.**

R92: 1983

ISBN 91-540-3998-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700792

**Abonnemangsgrupp:
R. Bygandets ekon. och org.**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 20 kr exkl moms