

SBUF Projekt 8040

Jetinjektering

**Uppdatering av teknik och kostnader
ETAPP 2**



HERCULES 
GRUNDLÄGGNING

TREVII


1 SAMMANFATTNING

Hercules Grundläggning AB utförde under maj- november 1998 en svår grundläggning i centrala Stockholm för att möjliggöra byggnation av ett underjordiskt parkeringsgarage åt Stockholm Parkering AB.

Den temporära stödkonstruktionen består av jordstagsförankrade jetpelare. Totalt 110 stycken, knappt 10 m långa jetpelare med diametern 1.20 m installerades i en lång rad med ett c/c på 0,80 m i den mycket sättningkänsliga Brunkebergsåsen. Jetpelarentreprenör var italienska Trevi Spa. Sättningskraven var hårda. De två nästan hundraåriga direkt intillstående fastigheterna fick endast sätta sig som mest 10 mm under hela byggtiden. Kravet klarades med råge då uppmätta sättningar som mest var knappt 6 mm i två mätpunkter.

Jetpelarteknik är en teknik där jordmaterialets finare partiklar ersätts med cementslurry genom erosiva processer under högt tryck. Cementslurryn bildar med kvarvarande större partiklar som ballast en väl avgränsad pelare med avsevärt förbättrade hållfasthets- och täthetsegenskaper.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	SAMMANFATTNING.....	2
2	INLEDNING.....	5
3	OMFATTNING.....	6
4	METODBESKRIVNING JETPELARE	7
4.1	GENERELLT	7
4.2	ARBETSGÅNG	7
4.2.1	<i>Utsättning.....</i>	7
4.2.2	<i>Uppställning.....</i>	8
4.2.3	<i>Borrning.....</i>	8
4.2.4	<i>Jetting.....</i>	8
4.2.5	<i>Överskottshantering.....</i>	8
4.3	JETTINGMETODER	9
4.3.1	<i>Mono-Fluid-metoden.....</i>	9
4.3.2	<i>Double-Fluid-metoden.....</i>	9
4.3.3	<i>Triple- Fluid- metoden.....</i>	9
5	PRESENTATION AV STUDERAT OBJEKT	10
5.1	ALLMÄNT	10
5.2	GEOTEKNIK	10
5.3	TEMPORÄR STÖDKONSTRUKTION.....	11
5.4	UTRUSTNING	11
5.4.1	<i>Jetpelarmaskin.....</i>	11
5.4.2	<i>Blandarstation.....</i>	12
5.4.3	<i>Högtryckspump.....</i>	13
5.4.4	<i>Kompressor.....</i>	14
5.4.5	<i>Cementslurry.....</i>	14
6	ERFARENHETER FRÅN UTFÖRT OBJEKT	15
6.1	ALLMÄNT	15
6.2	INSTALLATION JETPELARE	15
6.2.1	<i>Allmänt.....</i>	15
6.2.2	<i>Testpelare.....</i>	16
6.2.3	<i>Borrning.....</i>	17
6.2.4	<i>Jetting.....</i>	18
6.2.5	<i>Hantering överskottsmassor.....</i>	18
6.3	ARMERING AV JETPELARE	19
6.4	OMGIVNINGSPÅVERKAN.....	19
6.4.1	<i>Buller.....</i>	19
6.4.2	<i>Vibrationer.....</i>	19
6.4.3	<i>Stoft, damm.....</i>	20
6.5	GEOMETRI	20
6.5.1	<i>Anslutning mellan pelare.....</i>	20
6.5.2	<i>Rakhet.....</i>	21
6.5.3	<i>Kontinuitet.....</i>	22
6.6	HÅLLFASTHET	22
6.6.1	<i>Tryckförsök.....</i>	22
6.6.2	<i>Kärnborrning.....</i>	22
6.7	TÄTHET- PERMEABILITETSTEST	23
6.8	HAMMARBAND	24
6.9	STAG.....	25
6.9.1	<i>Stagkraftgivare.....</i>	26
6.10	RÖRELSER	26
6.10.1	<i>Precisionsavvägning vertikalt.....</i>	26

6.10.2	Horisontalrörelser- Inklinometermätning	27
6.11	SCHAKT	27
7	KOMMENTARER OCH SLUTSATSER	28
8	METODENS LÄMPLIGHET	29
9	METODENS TILLÄMPNINGSOMRÅDEN	29
9.1	STÖDKONSTRUKTION	29
9.2	GRUNDLÄGGNING	29
9.3	KASSUNER	29
9.4	GRUNDFÖRSTÄRKNING	30
9.5	TUNNELDRIVNING	30
9.6	SLÄNTSTABILISERING	31
9.7	TÄTNING AV DAMMAR	32
9.8	FÖRORENAD JORD	32
10	ÖVRIGT	32
11	AVSLUTNING	32

Bilagor

1 Rapport från bullermätning SCC- Scandiaconsult Akustik

2 INLEDNING

I Stockholms innerstad är parkeringsplatser en bristvara. Ovan jord finns idag ringa möjligheter att utöka antalet platser. En möjlighet är att bygga underjordiska garage där så är genomförbart. Stockholm Parkering AB bygger ett underjordiskt parkeringsgarage under Malmtorgsgatan vid Brunkebergstorg i Stockholms mest centrala delar.

För att möjliggöra schakt i den sättningsbenägna Brunkebergsåsen utförde Hercules Grundläggning AB under maj- november 1998 en avancerad bakåtförankrad stödkonstruktion där sponten utgjordes av armerade jetpelare. Jetpelartechniken är en för svenska förhållanden nygammal teknik som härmed fått en renässans.

Medverkande i SBUF- projektet har varit som följer.

Björn Svensson	NCC Anläggning
Per- Lennart Svensson	SCC- Scandiaconsult
Ragnar Wikström	Fundus
Pär Hansson	Vattenfall Utveckling
Håkan Eriksson	Hercules Grundläggning AB
Pär Land	Hercules Grundläggning AB
Peter von Reedtz	Hercules Grundläggning AB
Tomas Adlerborn	Stabilator
Ronny Andersson	Cementa
Lars Bjerin	Vägverket

Projektledare:	Håkan Eriksson
Rapportförfattare:	Peter von Reedtz

Gruppen har under projektets gång haft fem möten.

3 OMFATTNING

Den här SBUF- rapporten är en fortsättning och uppföljning på SBUF- Projekt 6029, "Jetinjektering- Uppdatering av Teknik och Kostnader".

Rapporten omfattas av en metodbeskrivning av jetpelartekniken, presentation och erfarenheter från projektet vid Brunkebergstorg våren 1998 i Stockholm, redovisning av använda kontrollmetoder, redovisning av metodens lämplighet och potentiella tillämpningsområden.

Delar av rapporten presenterades som ett anförande vid Grundläggningdagen 1999.

4 METODBESKRIVNING JETPELARE

4.1 Generellt

Grundprincipen för jetpelartekniken är att med en stråle av cementslurry erodera bort jordmaterialets finare fraktioner och ersätta och fylla ut med cementslurry. Cementslurryn och kvarvarande större fraktioner, som kan liknas vid en ballast, bildar en väl avgränsad pelare sk. jetpelare med betydligt förändrade hållfasthets- och täthetsegenskaper. Jetinjektering kan användas bl.a. som alternativ till spont, tätskärm vid vattendrag, dammar och deponier, grundförstärkning, vid tillfälliga konstruktioner vanligtvis i samband med tunneldrift och schakt samt för grundläggning. En av fördelarna med metoden ligger i att den kan tillämpas i alla typer av jordar och är oberoende av undergrundens struktur och uppbyggnad. En under vissa förhållanden förekommande nackdel är hantering av överblivet överskottsmaterial sk. spoil. Metoden är vanlig i Japan, Sydostasien och i övriga Europa utom Skandinavien. Kajima- en japansk byggentreprenör- tog fram metoden under 1960- talet. Arbetsgången för installation av jetpelare kan delas upp i olika delmoment; utsättning, uppställning, borrhning, jetting och överskottshantering.

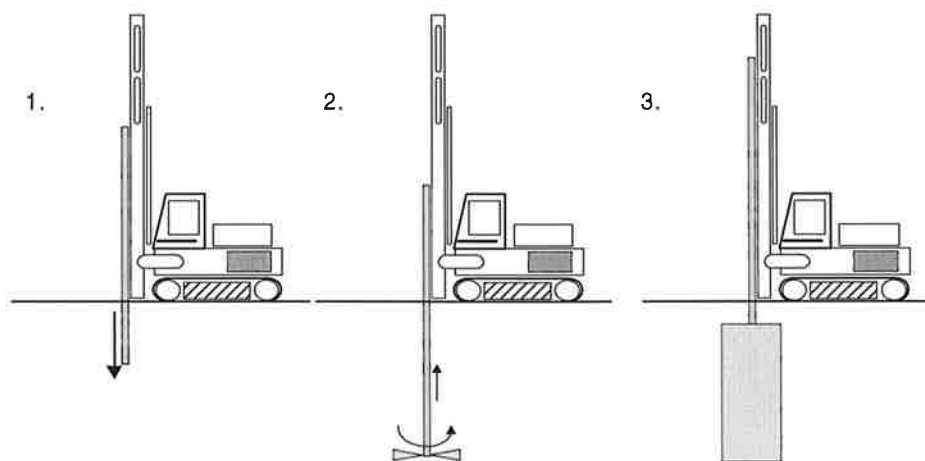


Bild 1. Borrhning med direkt påföljande jetting

4.2 Arbetsgång

4.2.1 Utsättning

Exakta koordinater till ingångspunkten för varje pelare anvisas av utsättare. Installationsvinkel kontrolleras av utsättare. Varje pelare är individuellt numrerad och försedd med specifikation gällande utsättningskoordinater, lutning, nivå överkant jetpelare, diameter osv.

4.2.2 Uppställning

Generellt installeras pelarna i en sekvens av primära och sekundära pelare. Installationsordningen kan inte i detalj fastställas innan produktionsstart utan är föremål för revidering under projektets gång. Borrigen skall uppställas så att borrarverktöget kommer i läge med hänsyn till den teoretiska ingångspunkten och dess axel.

4.2.3 Borring

Borring utförs principiellt genom att de roterande stängerna matas in i jorden. Olika typer av borkronor används, vanligtvis stiftborkrona men även sk ”rotary drill bit” förekommer. Såväl sänkborkhammare som toppmatad hammare används. Borring kan utföras på olika sätt, som följer:

Förborring med foderrör:

Foderrör borrar och sätts normalt till teoretisk överkant kommande jetpelare. Foderrörets innerdiameter måste ha en sådan dimension att spoilens returflöde kan ske utan risk för igensättning.

Förborring utan foderrör:

I de fall då borrhål kan stå öppet utan att falla igen kan förborring utan foderrör vara ett alternativ. Borring sker då till underkant blivande jetpelare. Detta kan eventuellt vara ett alternativ vid arbete i fasta leriga jordmaterial.

Borring med direkt påföljande jetting:

Vid borring med påföljande jetting används samma borrarstänger för borringen som för jettingen. Borrarstängerna är utformade med ett eller upp till tre koaxiala innerrör beroende på typ av jetpelarmetod. Monitorn varpå jetmunstyckena är placerade sitter mellan borkrona och nedersta borrarstång. Borring sker till nivå för jettingens start. När rätt nivå nåtts och trycket ökas stängs borkronas spolvätskekanal och jetmunstyckenas kanaler öppnas. Öppning respektive stängning åstadkoms genom att använda en tryckreglerad kulventil.

4.2.4 Jetting

Borriggsoperatören inleder jettingen först när korrekt tryck hos högtryckspumpen uppnåtts. Jetmunstycket på monitorn är utformat på sådant sätt att strålen med cementslurry sprids i en vinkel om ca. 30 grader. Jettingen drivs antingen manuellt eller automatiskt. Borriggsoperatören styr jettingen från borrhagens styrpanel. Vid automatisk jetting ställer borriggsoperatören in stighastighet och rotationshastighet och låter borrhagens styr- och kontrollenhet sköta jettingen. Jettingen avslutas på avsedd nivå. Borrhålet från överkant jetpelare till markyta fylls vid behov med cementslurry.

4.2.5 Överskottshantering

Jettingen genererar så kallad spoil (överskottsmassor) vilket utgörs av en blandning av det jordmaterial som eroderats bort och cementslurry. Spoilen följer borrarstången uppåt och kommer upp till markytan. På markytan tas spoilen

om hand genom att den avleds från borrstängen med temporära diken till en större schaktgrop. I schaktgropen sedimenterar spoilen. Kvarvarande material transporteras bort eller lämnas kvar tills gropen fylls igen. Borttransporteringen kan ske antingen efter att spoilen stelnat eller innan. Spoilen innehåller så pass stor andel cement att ett hårdnande sker. Vi borttransportering innan stelning är utrustning typ slamsugningsutrustning nödvändig. Ett alternativ till att leda bort spoilen till en schaktgrop är att med dränkbara pumpar pumpa spoilen till containrar el. likvärdigt.

4.3 Jettingmetoder

4.3.1 Mono-Fluid-metoden

Mono-Fluid-metoden (Enkelvätske- el. Simplexmetoden) baseras på en samtidig sönderbrytning, erodering och blandning av jord på plats genom en högtrycksstråle av cementslurry med tryck omkring 300- 450 bar (30- 45 MPa). Den speciella Monitorn varpå jetmunstyckena är placerade sitter i anslutning till borrkronan. Antalet jetmunstycken är normalt 1 eller 2. Munstycksdiametern ligger mellan ~1,5 och 4,5 mm. Jetting utförs med antingen manuell eller automatiskt rotation och stigning.

4.3.2 Double-Fluid-metoden

Double-Fluid-metoden (Dubbelvätske- el. Duplexmetoden) som innebär att jorden bryts upp, eroderas och pelarbildning åstadkoms med en stråle av cementslurry omgiven av ett tryckluftsskydd. Tryckluften ökar effektiviteten och större pelare kan utföras. Trycket på cementslurryn är ca. 30- 40 MPa (300- 400 bar) och lufttrycket ca. 7- 12 bar. De speciellt utformade borrstängerna är uppbyggda enligt ett sk. koaxial- system med två rör inuti borrstängen, ett inre för cementslurry och ett yttre för tryckluft. Monitorn med ett eller två munstycken av likaså koaxialtyp sitter i anslutning till borrkronan. Jetting utförs med antingen manuell eller automatiskt rotation och stigning.

4.3.3 Triple- Fluid- metoden

Triple- Fluid- metoden (Trippelvätske- el. Triplexmetoden) som innebär att jorden bryts upp och pelarbildning åstadkoms med en eller två cementslurrystråle (-ar) omgiven av ett tryckluftsskydd kombinerat med en vattenstråle som sprutas ut ur ett eget munstycke. På monitorn sitter ett eller två koaxiala munstycken för cementslurry och luft samt ett eller två enkla munstycken för vatten. Vattenmunstycket (-na) sitter höjdmässigt ett bit högre upp på monitorn än koaxialmunstycket (-na) vilket gör att vattenstrålen verkar förskärande. Jetting utförs med antingen manuell eller automatiskt rotation och stigning.

5 PRESENTATION AV STUDERAT OBJEKT

5.1 Allmänt

I samband med rivningen och uppbyggnaden av Klarakvarteren i Stockholms innerstad under 1960- talet användes den del av Brunkebergsåsens omgivning vilken begränsas av Hamngatan i norr, Jakobsgatan i söder, Brunkebergsåsen i väster och Kungsträdgården i öster som täkt för schakt- och fyllnadsmassor. Den sk. kallade Riksgropen bildades. Riksgropen stod öppen fram till dess att den fastighet som ofta benämns Gallerian färdigställdes i början av 1970- talet. Efter Gallerian's tillkomst återstod endast en liten del av Riksgropen, belägen i Brunkebergstorg's södra del. Den delen täcktes med en - som det sades- temporär körbrygga bestående av ett stålbalksgitter, träsyll och ytskikt av asfalt. Körbryggan bildar nedre delen av Malmtorgsgatan, som går mellan Brunkebergstorg och Jakobsgatan. Stockholm Parkering AB utnyttjar området under Malmtorgsgatan och tar bort körbryggan och bygger ett underjordiskt parkeringsgarage. De fyller således igen "tomrummet". Garaget som i dess norra del angränsar till ett redan befintligt parkeringsgarage färdigställs i början av juni 1999. Det blir i tre plan och rymmer ca 120 personbilar. Totalentreprenör är NCC Anläggning Region Stockholm. Parkeringsgaraget byggs som en platsgjutet stomme av betong. Totalkostnaden beräknas uppgå till 52 miljoner kr varav den temporära stödkonstruktionen utgör ca. 6 %. Jetpelarna installeras med TREVIJET T1/S (dubbelvätskemethoden), vilken presenteras i kapitel 4.3.2.

5.2 Geoteknik

Jetpelarna installeras i Brunkebergsåsen's centrala delar. Brunkebergsåsen är en rullstensås vilande på berg. Åsen sträcker sig i nord- sydlig riktning från Stor-Stockholms norra delar genom stadens centrala delar och vidare söderut mot Nynäshamn. Jordmaterialet i åsens centrala delar består i huvudsak av välgraderad, fast lagrad friktionsjord med stort innehåll av sten. Även block förekommer. Det förekommer skikt med upp till mer än metertjocka lager av ensartade rundade korn. Dessa kan vara löst lagrade. Ställvis finns rivningsrester ovanpå åsen. Åsen klassas som starkt sättningsbenägen vid vibrationer från slagning av spont, pälår etc.

Åsmaterialet har åsatts följande beräkningsförutsättningar:

- Karakteristisk inre friktionsvinkel $\phi_k = 33^\circ$
- Karakteristisk tunghet över gv- yta $\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$
- Karakteristisk tunghet under gv- yta $\gamma_k = 21 \text{ kN/m}^3$

Grundvattenytan utmed Malmtorgsgatan ligger på en trycknivå på +0,3 till -0,5 m. Jetpelarna installeras till som mest +0,5 m vilket är lika med maximal

schaktbotten tillika grundläggningsnivån för parkeringsgaraget. Inga arbeten utförs under grundvattenytan.

5.3 Temporär stödkonstruktion

För att möjliggöra grundläggningen av parkeringsgaraget måste de två direkt intilliggande fastigheterna kv Brunkhalsen och Brunkhuvudet säkras med någon form av temporär stödkonstruktion under byggtiden. I kv Brunkhuvudet är UD-utrikesdepartementet- lokaliserat. Fastigheterna färdigställdes 1898 (kv Brunkhalsen) och 1918 (kv Brunkhuvudet) och är grundlagda med kallstensmurar respektive betongsula direkt på åsen. Programförslaget var att först utföra en konventionell lågtrycksinjektering av åsen och sedan göra en jordförankrad borrard rörsfont.

Hercules Grundläggning AB med italienska Trevi Spa. som underentreprenör löste uppgiften genom en alternativ lösning bestående av en bakåtförankrad stödkonstruktion bestående av 110 st slätstångsarmerade delvis i varandra installerade ca 10 m långa jetpelare utefter de två fastigheterna, tre nivåer med hammarband av dubbla spontprofiler samt 10- 12 m långa jordförankrade Ischebeckstag för respektive nivå.

Den alternativa metoden med jetinjektering fördes fram till beställaren med i huvudsak argumenten att metoden är gynnsam ur dammhänseende, buller- o vibrationssynpunkt och att den hade goda förutsättningar att klara de tuffa sättningsvillkor som ställdes.

Betongkonstruktionen utförs så att den tar hand om totalstabilitet och laster från mark och byggnader efter färdigställande. Stödkonstruktionen fyller endast sin funktion under byggskedet. Stag på respektive nivå släpps då betongkonstruktionen växer uppåt.

5.4 Utrustning

I skrivande stund finns det endast en svenskägd jetpelarutrustning. Den ägs av Hercules Grundläggning.

Stabilator har utfört en entreprenad på Södra Länken (SL10) med tyska Keller som underentreprenör för jetpelararbetena.

5.4.1 Jetpelarmaskin

Jetpelarmaskinen är en italiensk SOILMEC CM40-JM. Masten är knappt 23 meter hög och klarar av att utföra maximalt 18 m långa jetpelare. Den är försedd med utskjutbara larver vilket gör att den ihopskjuten endast är 2,55 m bred. Arbetsbredd är 3,55 m. Masten är fällbar i topp och botten och är vid transport drygt 14 m lång. Maskinen är genom sin storlek och stabilitet väl lämpad för utförande av dessa jetpelare.

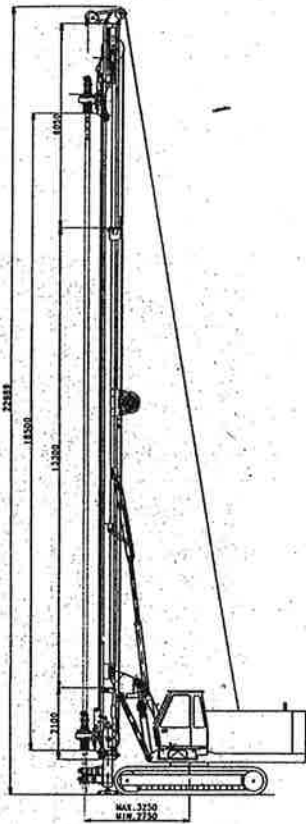


Bild 2. SOILMEC CM40-JM

5.4.2 Blandarstation

Blandarstationen består av en eller flera silos och en mixer. Nämnda silo's rymmer 44 ton cement. I mixern blandas cementslurryn. Cementen vägs först i rätt dos i en våg och blandas sedan med rätt andel vatten och ev. tillsats i det sk. tillblandningskärlet. Vatten tas från den 20 m³ stora vattentanken. Färdig cementslurry portioneras över i lagringskärlet, även kallat batch. Lagringskärlet rymmer ca 700 liter cementslurry. Från lagringskärlet pumpas sedan cementslurryn över till högtryckspumpen. Trycket på cementslurryn är nu ca 5-7 bar.

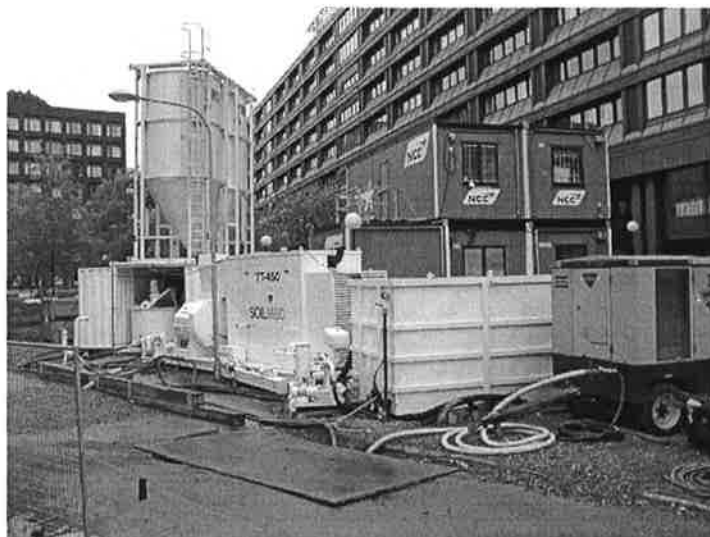


Bild 3. Blandarstation vid Brunkebergstörg

5.4.3 Högtryckspump

Högtryckspumpen, en SOILMEC 7T-450, består av en högtrycks- triplex-kolvpump som drivs av en lastbilsdiesel. Kolvpumpen ökar trycket på cementslurryn till avsett tryck, i detta fall 450 bar. Från högtryckspumpen pumpas cementslurryn vidare i en speciell höghållfast slang fram till jetpelarriggen. Både pump och borrhög är försedda med säkerhetsventiler som vid eventuellt slangbrott avbryter flödet av cementslurry.

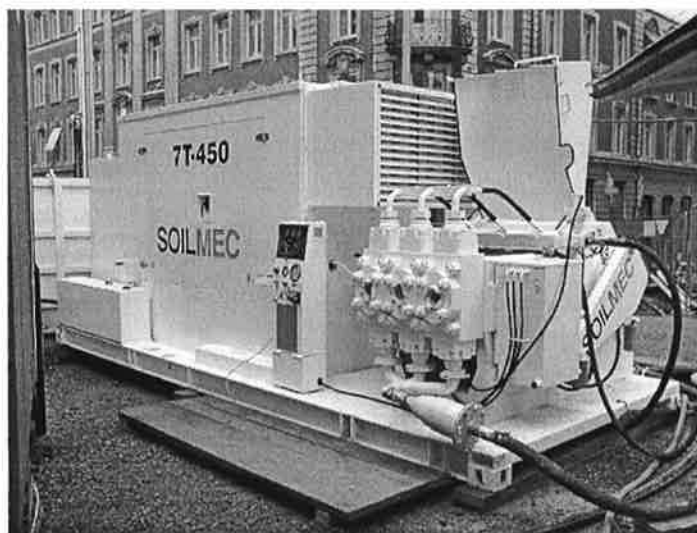


Bild 4. Högtryckspump SOILMEC 7T-450

5.4.4 Kompressor

En Atlas Copco ljuddämpad dieseldriven kompressor med kapacitet om 20 m³/h och 7- 12 bar användes.

5.4.5 Cementslurry

Cementslurryn bestod av en blandning av vanligt dricksvatten och Standard Portland Std P- cement. Vct- tal om 1,11 användes. Dagligen producerades i genomsnitt 25- 30 000 liter cementslurry. Cement levererades till arbetsplats med bulkbil, ca. 12- 14 ton cement/ leverans.

6 ERFARENHETER FRÅN UTFÖRT OBJEKT

6.1 Allmänt

Genom att bl.a. metoden inte tillämpats i Sverige på flera år ansåg såväl entreprenören som referensgruppen det viktigt att genomföra ett antal kontroller förutom kontrakthandlingens krav på precisionsavvägning och vibrationsmätning. Redovisning av kontrollmetoder och resultat följer nedan.

6.2 Installation jetpelare

6.2.1 Allmänt

Totalt 110 stycken jetpelare installerades under en femveckors period i maj och juni månad 1998. Jetpelarna installerades enligt dubbelvätskemethoden, se kapitel 4.3.2. Jetpelarna installerades med c/c 0,80 m. Utmed kv Brunkhuvudet är pelarna 9,20 m långa och utefter kv Brunkhalsen 9,70 m. Installationsordningen följde i princip en sekvens om primära och sekundära pelare. I början av installationen var den principiella sekvensen, pelare nr. 1, 4, 7, 10, 13 följt av uppehåll för härdning, därefter pelare nr. 2, 5, 8, 11, 14, sedan härdning, följt av pelare nr.: 3, 6, 9, 12. Uppföljning av i första hand vertikallrörelser gjorde att installationsordningen kunde revideras till: 1, 3, 5, 7.....följt av 2, 4, 6, 8 osv. Det svåraste och mest tidskrävande momentet under installationen var borrhningen.



Bild 5. Installation av jetpelare vid Brunkebergstorg

I genomsnitt producerades 5,3 pelare/arbetsdag. Pelarna installerades med 1,5 graders inåtlutning mot fasaden för att minska konstruktionens anspråkstagande av det begränsade utrymmet för parkeringsgaraget.

6.2.2 Testpelare

Innan start av produktionspelare installerades fyra provpelare. Ett par dagar efter installation framschaktades provpelarna så att okulärbesiktning kunde genomföras. Syftet med provpelare var att bestämma och verifiera alla inställningar¹ som behövs för att erhålla erforderlig diameter på produktionspelarna, i detta fall ϕ 1,20 m.



Bild 6. Framschaktad jetpelare, testpelare no. 1, ϕ 900 mm

För att ytterligare verifiera valda parametrar framschaktades en av de först producerade produktionspelarna, se bild 6.

¹ Rotationshastighet, stighastighet, tryck, flöden, vct, viskositet etc.



Bild 7. Framschaktad produktionsjetpelare, $\phi \sim 1300$ mm

6.2.3 Borring

Borring utfördes med topphammare. På grund av åsens mycket skiftande karaktär med ställvisa inslag av stora block av granit, samt att endast toppmatad borrhämmare fick användas varierade borrhiden från som kortast åtta minuter, till som längst drygt två timmar.



Bild 8 Vy över den 7 m breda arbetsytan

6.2.4 Jetting

Jettingen styrs och genomförs med automatisk stigning vilket gör att den tidmässigt inte varierar. Arbetsplatsformen för jetpelarinstallationen måste ur säkerhetssynpunkt ligga minimum en meter ovanför blivande jetpelares överkant. Allt för att förhindra att markytan "blåses iväg" av jetstrålen.

För jetinjektering användes parametrar enligt tabell 6-1 för att åstadkomma 120 cm stora jetpelare. Dessa bestämdes genom att utföra testpelare.

Tabell 6-1 Parametrar jetinjektering

Aktivitet	Värde	enhet
ϕ munstycke	4	mm
Rotationshastighet	18	rpm
Stigningshastighet	195	sekunder/m
Lufttryck	7	bar; kg/cm ²
Luftflöde	7000	lit/h
Tryck cementslurry	450	bar; kg/cm ²
Flöde cementslurry	190	lit/min
Vattentryck	20	bar; kg/cm ²
Cement	450	kg/ batch ²
Vatten	500	lit/ batch

6.2.5 Hantering överskottsmassor

Övertskottsmassorna (spoil) omhändertogs på plats. En liten grävmaskin grävde temporära diken runt den för stunden aktuella installationsplatsen och avledde de trögflytande massorna till en större grop. Spoilen sedimenterade ned genom åsen och fungerade därmed indirekt som en lågtrycksinjektering och stabilisering av arbetsytan. Ungefär 200 m³ spoil omhändertogs.

² Batch= lagringskärl ca 700 liter



Bild 9. Överskottsmassorna leds bort i temporärt dike under pågående jetting

6.3 Armering av jetpelare

På ett avstånd om ca 0,40 m från jetpelarens centrum borrades i dess framkant ett åtta meters hål där armeringen, ϕ 50 mm slätstång, installerades och injekterades fast i varje jetpelare. Borring utfördes med en borrhög Atlas Copco 712 i härdad pelare.

6.4 Omgivningspåverkan

6.4.1 Buller

För att få en uppfattning om det ljud som jetpelarproduktionen alstrar genomfördes en bullermätning. Utrustningen består av i huvudsak tre ljudalstrande delar; Jetpelarmaskin, Högtryckspump och Kompressor. Mätning gjordes med svepmetod på 1 m avstånd från respektive ljudalstrare.

Tabell 6-2. Beräknade ljudeffektnivåer

Ljudalstrare	Total ljudeffektnivå [dBA]
SOILMEC CM40-JM m. topphammare	105
Högtryckspump SOILMEC 7T-450	106
Kompressor Atlas Copco XAHS 365	100

Mätning gjordes i sju oktavband och den totala ljudeffektnivån beräknades sedan fram. Se bilaga.

6.4.2 Vibrationer

Maximalt tillåten svängningshastighet för kv Brunkhuvudet var 5 mm/s och för kv Brunkhalsen 3 mm/s. Beställaren ombesörjde att vibrationsmätare

installerades. Vibrationsmätarna avläste kontinuerligt under jetpelarinstallationen. Under tiden för installation av jetpelare registrerades ej mätbara vibrationer som med säkerhet kunde associeras med jetpelarmaskinen eller till någon annan del i utrustningen.

6.4.3 Stoft, damm

Själva jettingen genererade inget stoft eller damm. Cementpåfyllning av silos gav upphov till något enstaka damm och stoft. Vid påfyllning användes en vattendriven dammavskiljare som var mycket effektiv och tog bort så gott som allt damm.

6.5 Geometri

6.5.1 Anslutning mellan pelare

Pelarnas anslutning med varandra åskådliggörs i bild 10 och 11. Med pelardiameter 120 cm och c/c- avstånd om 80 cm blir överlappningen 20 cm.

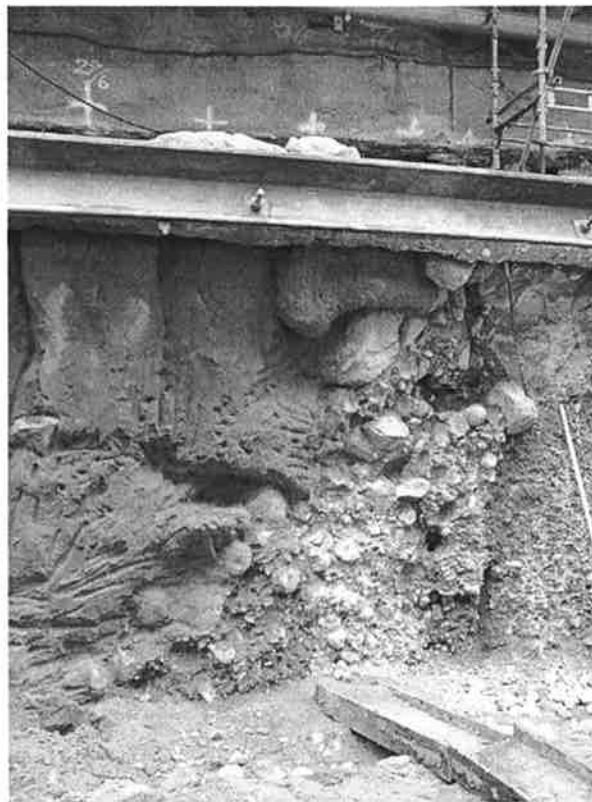


Bild 10. Övergång olika jordmaterial i åsen

Beroende på jordmaterialets mycket varierande struktur får jetpelarväggen olika utseende. Bild 10 visar övergången mellan ett område i åsen med det till vänster väldigt ensartade sandiga och det högra mer varierande grusigt steniga materialet. Pelarnas krökta yta kan ses i det sandiga partiet emedan det i det grövre materialet är svårt att urskilja enskilda pelare.

Stora stenar "bäddas" in jetpelarna. I figuren till höger ses större sten $\phi \sim 40$ cm vilken "gjutits" fast. I en konstruktion som den här är det nödvändigt att bila bort de stenar som sticker ut alltför mycket och in i betongkonstruktion, alternativt utgör fara om de skulle av någon anledning lossna. Stenar kan säkras med t.ex. bultning.



Bild 11. Anslutning mellan jetpelare

6.5.2 Rakhet

Jetpelarväggen visade vid framschakt en god rakhet. Pelarna som installerats med ställvis mycket besvärlig borring var samtliga mycket lika i inåtlutning (installerades med 1,5 grads inåtlutning mot byggnad). Förutom enstaka block som "stack ut" var väggen jämn i sin utbredning i längdled, se bild till vänster.



Bild 12. Jetpelarväggens raket efter färdig schakt

6.5.3 Kontinuitet

Brunkebergsåsens komplexa sammansättning gjorde att jetpelarna fick olika utseende beroende på jordlagerföljdens uppbyggnad. Notabelt är att diametern hos pelarna var mer eller mindre konstant 120 cm oavsett jordmaterial. Jetting utfördes med konstant inställda parametrar.

6.6 Hållfasthet

6.6.1 Tryckförsök

Enaxiella

Femton kärnprover, fem från vardera kärnborrhål, valdes ut för enaxiellt tryckförsök. Resultaten varierade från som lägst 5,6 MPa och som högst 31,4 MPa. Medelvärdet uppgick till 12,8 MPa. Korrigering gjordes enligt Betonghandboken. E- modul bestämdes på tio av proven.

6.6.2 Kärnbörning

Kärnprover togs i tre borrhål, i jetpelare nr. 8, 73 och snett i 70- 71. Kärnorna togs med en sk. "Double-Barrel" provtagningsutrustning. Borrhålets diameter var ϕ 72 mm. Totalt togs ca 25 m kärnprover. Kärnorna var av diametern 63 mm. Kärnorna togs ungefär 0,20 cm från jetpelarens centrum. Den sneda kärnbörningen utfördes för att få en uppfattning om anslutningen mellan två

pelare. Okulärbesiktning av kärnorna visade att anliggnen mellan pelarna var god.



Bild 13. Kärnprovtagning pelare 8

6.7 Täthet- permeabilitetstest

Det förelåg inget täthetskrav på jetpelarkonstruktionen. I studiesyfte valdes att ändå genomföra en vattenförlustmätning med dubbelmanschettutrustning för att få en uppfattning om jetpelarnas täthet.

Mätningen utfördes i det sneda kärnborrhålet i pelare 70/ 71. Jetpelare 70 och 71 var vid mättillfället mer än 28 dagar. Mätlängden var 1,30 m. Mätning utfördes för varje meter i kärnborrhålet. Mätcykeln var 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 och 2,5 bar under tiden två minuter för varje trycksteg. Endast vid 2,0 och 2,5 bar's tryck registrerades vattenförlust och då i jetpelarens understa och översta del. Medelpermeabiliteten beräknades på dessa nivåer till $4,9 \cdot 10^{-6}$ m/s.



Bild 14. I förgrunden ses dubbelmanschettutrustning för vattenförlustmätning, i bakgrunden borrhning för jetpelararmering, borrhigg Atlas Copco 712.

6.8 Hammarband

Hammarband för respektive nivå utfördes som dubbla liggande spontplankor typ Larssen. Schakt gjordes ned till nivå för stag. Hammarband lades på plats varefter hammarbandet motgjöts med betong mot jetpelarna för att få god anliggning.



Bild 15. Utformning av hammarband



Bild 16. Montering av hammarband

6.9 Stag

Jordstag av typ Ischebeck 40/16 installerades. Längden på stagen i de två översta raderna är 12 meter med en fri längd om sex meter. Den understa nivån har 10 meter långa stag med fem meter fri längd. Förspänningslasterna i stagen varierar mellan 180- 280 kN.



Bild 17. Schakt utförd till schaktbotten

Provdragning utfördes till dubbla förspänningslasten. Vid provdragning noterades ingen rörelse i något stag mer än 3 mm. Stagets fria längd

säkerställdes genom att stagets två sista skarvlängder³ försågs med ett rörhölje av plast vilket fästes i skarvhylsan.



Bild 18. Vy över arbetsplatsen efter det att stödkonstruktionen färdigställts

6.9.1 Stagkraftgivare

I den sektion inklinometern installerades monterades stagkraftgivare på det stag som låg närmast på respektive stavnivå. Givarna på nivå två och tre blev inte korrekt installerade och gav inte någon värdefull information. På den översta nivån förspändes staget till ca 180 kN. Avläsningar senare fram till färdigt schaktdjup visade stagkrafter på mellan 120 och 165 kN.

6.10 Rörelser

6.10.1 Precisionsavvägning vertikalt

Mätprogrammet omfattade att precisionsavväga sammanlagt 40 dubbar under jetpelarinstallationen. På kv Brunkhuvudet och Brunkhalsen installerades en dubb var femte meter. Avläsning genomfördes en gång per dag, ibland oftare. Under jetpelarinstallationen inklusive installation av slätstångsarmering registrerades som mest en sättning om tre mm i två mätpunkter vid kv Brunkhalsens södra ände. Övriga mätpunkter visade ingen eller en mm rörelse. Schakt i tre etapper ned till schaktbotten med hammarbands- och stagsättning gav en ytterligare sättning på tre mm. Totalt har en sammanlagd sättning om sex

³ Skarvlängden på stagen var 3 m

mm registrerats i två mätpunkter. Övriga mätpunkter har lägre värden. Kravet är en sättning på maximalt 10 mm tillåts under hela byggtiden hos de två gamla byggnaderna.

6.10.2 Horisontalrörelser- Inklinometermätning

I kärnborrhålet i pelare 73 installerades en inklinometer för att få en uppfattning om konstruktionens horisontella rörelser under påföljande schaktetapper. Efter det att schakt nått slutlig nivå och att stag blivit uppspända har 3- 5,5 mm horisontell rörelse observerats i konstruktionens fyra översta metrar. Den observerade rörelsen sammanfaller med den sektion där den största vertikala rörelsen 6 mm uppmäts. I denna sektion är belastningen från Brunkhalsen's kallstensmur som störst, ca 400 kN/m. Maximal horisontell rörelse är observerad på ca 2 m's schaktdjup under överkant jetpelare dvs. strax ovanför den andra hammarbandsnivån.

6.11 Schakt

Efter jetpelarinstallationen schaktades ned till jetpelarnas överkant. Schakten visade åsmaterialets mycket skiftande karaktär. Utefter Brunkhuvudet en tämligen välgraderad sandig, stenig jord med sten upp till 20- 25 cm storlek. Mellan fastigheterna och fram till ca en tredjedel av Brunkhalsen bestod jordmaterialet av betydande ensartad sand och grus. I resterande del utefter Brunkhalsen är jordmaterialet återigen välgraderat men med rikligt inslag av större sten och ställvis blockrikt. Block upp till ca 80 cm storlek förekommer.



Bild 19. Schakt ned till andra hammarbandsnivån. Jordmaterial ensartat sand och grus i detta område, Brunkhalsen's södra tredjedel.

Vid schakt intill och vid jetpelare märks en distinkt skillnad mellan behandlad jord och ej behandlad jord.



Bild 20. Vy över färdig temporär stödkonstruktion längs kv Brunkhalsen

7 KOMMENTARER OCH SLUTSATSER

Erfarenheterna från jetpelarinstallationen vid Brunkebergstorg är genomgående mer eller mindre positiva. Installationens kritiska punkt var borringen, mycket beroende på åsens mycket varierande sammansättning allt från rent sandigt till storblockigt material, men även den italienske borroperatörens till en början bristande erfarenhet av borring i åsmaterial bidrog.

Ett orosmoment hos många av de i projektet inblandade var huruvida konstruktionen skulle leva upp till de hårt ställda sättningskraven. Med facit i hand kan konstateras att sättningsvillkoret klarades med råge. Maximalt 6 mm registrerades, att jämföra med det ställda kravet maximalt 10 mm.

Intressant är metodens omgivningspåverkan. Metoden dammar inte speciellt mycket. Kritiskt kan vara avluftningen då cementsilon fylls upp. Vibrationsmässigt klarar sig jetpelarmaskinen bra. Bullermässigt klarar den sig väl om jämförelse görs mot andra alternativa metoder som t.ex. slagen eller vibrerad spont, se även bilaga.

Tryckhållfasthetsresultaten visade en till synes stor spridning. Med tanke på jordmaterialets sammansättning är en sådan spridning delvis förklarlig. En slutsats är dock att en större diameter på kärnproverna hade varit önskvärd.

Hammarbandets utformning med liggande spontprofiler fungerade bra. Ett frågetecken under projekteringen var hur god anliggning mellan hammarband och jetpelarväggen skulle uppnås. Lösningen med bakgjutning av spontprofilerna löste problemet på ett smidigt sätt. Hantering och positionering av de långa och tunga profilerna inom det begränsade utrymmet var emellanåt inte till full belåtenhet.

8 METODENS LÄMPLIGHET

Metoden lämpade sig väl i projektet och resultatet blev överraskande bra. Frågan om möjligheterna att utföra jetpelare i ett sådant jordmaterial som detta utan att omlagra, erodera bort, undergräva etc. jorden ställdes av ett flertal innan och under projektets genomförande. Resultatet visar med tydlighet att det går mycket bra att utföra jetpelare i ett sådant ställvis löst lagrat, omväxlande välgraderat alt. ensorterat jordmaterial som föreliggande åsmaterial.

9 METODENS TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN

9.1 Stödkonstruktion

Projektet vid Brunkebergstorg visar metodens mycket goda tillämpning som stödkonstruktion i form av en bakåtförankrad spont. Jetpelarväggen kan även utföras som en vattentät konstruktion. Viktigt är att ha ett sådant överlapp mellan pelarna att lokala diameteravvikelser kan förekomma utan att funktionen störs.

9.2 Grundläggning

Platta på mark över jetpelarförstärkt undergrund. Vanlig i seismiska jordar.

9.3 Kassuner

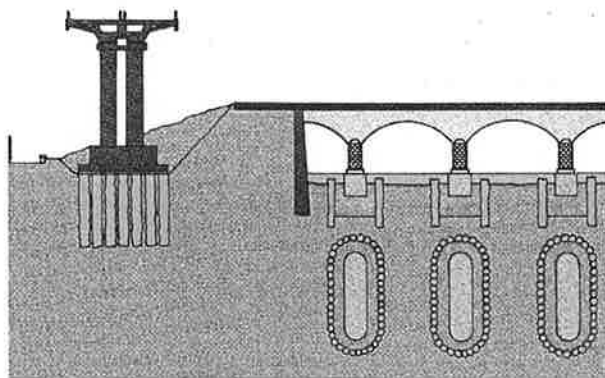


Bild 21. Exempel på jetpelarkassun och jetpelarförstärkt bropelarundergrund

9.4 Grundförstärkning

Jetinjektering kan vara en lämplig metod för att grundförstärka gamla hus, byggnader med känsliga grundläggningar av tex. kallstensmurar. På 1980- talet genomfördes ett antal sådana grundförstärkningar i Sverige.

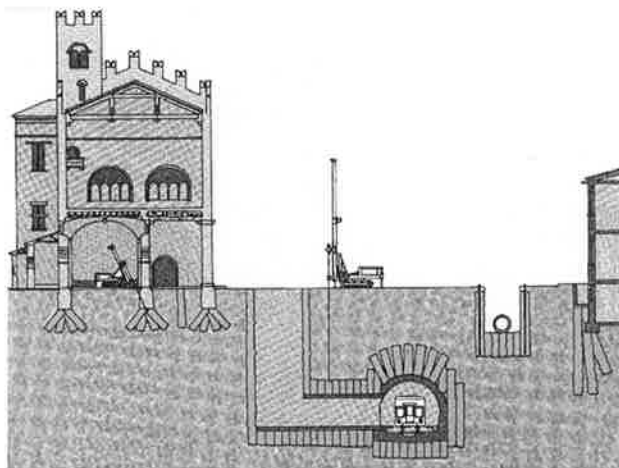


Bild 22. Grundförstärkning av bl. a. gamla husgrunder

9.5 Tunneldrivning

Jetinjektering installerade som en "tät kaka", se bild 23, möjliggör att driva tunnel där bergtäckningen är dålig eller obefintlig. Ett sådant projekt genomfördes redan 1985 i Älvsjö, där en avloppstunnel ϕ ca 3,7 m förstärktes med 190 st jetpelare. Konsortiet Hercules- Trevi JV. utför sedan november 1998 en jetpelarentreprenad på vägprojektet Södra Länken i Stockholm, ingående i kontrakt SL01. Entreprenaden omfattar installation av jetpelare i ett område där erforderlig bergtäckning är liten eller saknas för drivning av tunnel. Jetpelarna möjliggör att tunneln kan drivas på traditionellt sätt. Totalt installeras drygt 600 st pelare i dimension från 0,6- 1,6 m. Entreprenaden beräknas vara klar i April 1999. Därefter väntar en liknade entreprenad på Södra Länken, kontrakt SL02.

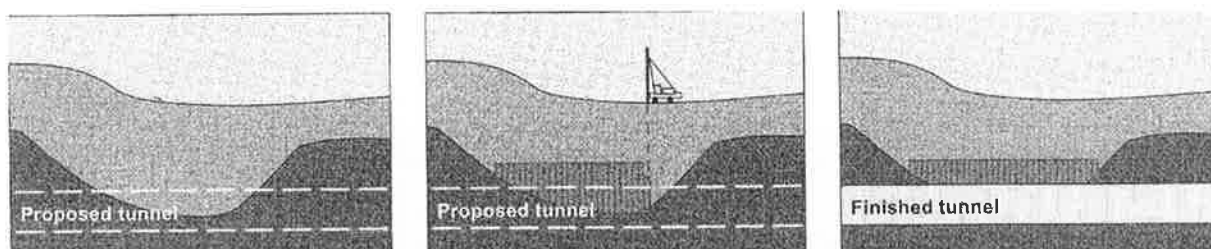


Bild 23. Tunneldrivning i jetpelarförstärkt område med dålig eller obefintlig bergtäckning

Utförande av horisontell jetinjektering har gjort det möjligt att kringgå de svårigheter som traditionellt funnits i samband med tunneldrivning i jord. Applikationen är vanlig för jordtunneldrivning i Mellan- och Sydeuropa.

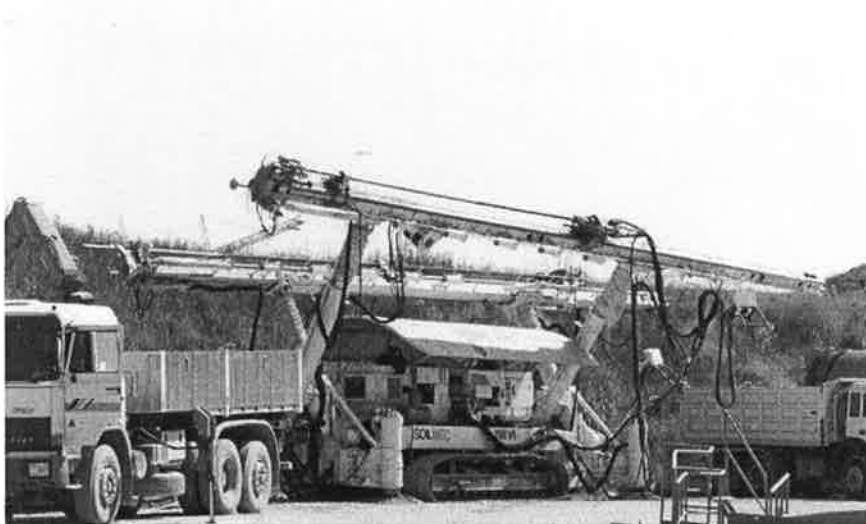


Bild 24. Jetpelarmaskin för horisontella jetpelare i jordtunnel

Jetpelare tillämpas dessutom vid jordtunneldrivning för att säkra tunnelportaler dvs. tunnlarans anfang.



Bild 25. Vertikal jetpelarkonstruktion för jordtunnelanfang

9.6 Släntstabilisering

Jetinjektering kan användas för att förstärka skredbenägna slänter. Pelarna kan installeras "solrosformat", se bild 26, eller vertikalt i slänten.

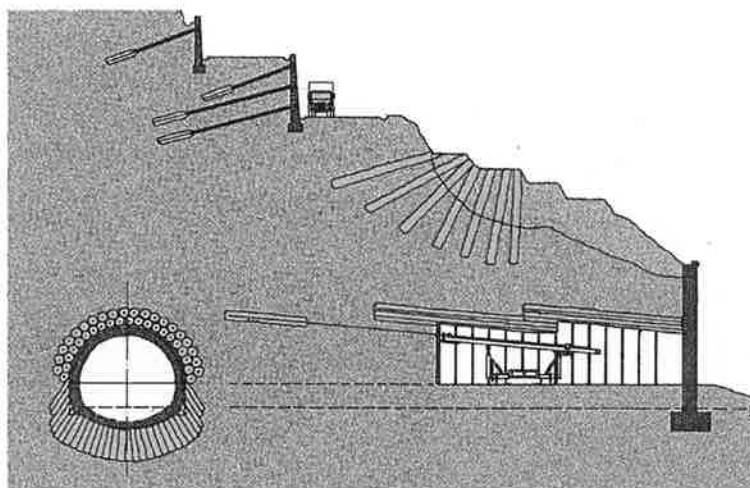


Bild 26. Horisontella jetpelare i jordtunnel samt jetpelare som släntstabilisering

9.7 Tätning av dammar

En tillämpning som är mycket intressant för svenska förhållanden är tätning av befintliga jordfyllnadsdammar. Förändrade krav på dammsäkerhet samt det faktum att ett flertal av landets jordfyllnadsdammar har eller visar tendens till problem med täthet gör att en skonsam och kontrollerbar injekteringsmetod som jetinjektering är intressant. Metoden möjliggör åtgärd utan att dammen tas ur drift.

9.8 Förorenad jord

Behandling av förorenad jord kan göras genom att föroreningen eroderas bort av jettingen och förs till ytan i överskottsmaterialet. Den förorenade jorden kan därefter föras bort. Kvarvarande förorening binds ihop tillsammans med cementen i den förstärkta jordmassan. Jetpelare kan även användas för invallningar av förorenad jord. Dels som väggar, slitsar men även som tätkakor etc. Viktigt är att installationsmönstret är sådant att fullgod täthet uppnås.

10 ÖVRIGT

Etablering av utrustning för en jetpelarentreprenad tar ungefär tre- fyra dagar. Det är tiden för att bygga ihop blandarstationen som tar tid. Erforderlig strömförsörjning är 250 A och nödvändig vattentillförsel är minimum 20 m³/h (~ 6 liter/sekund).

11 AVSLUTNING

Jetpelartekniken har många användningsområden och kommer med all säkerhet i framtiden ingå i den flora av grundläggningstekniker som tillämpas i Sverige och övriga Skandinavien.

Projektet vid Brunkebergstorg visar att jetpelartekniken kan användas med gott resultat i komplicerade jordförhållanden.



Bengt Johansson

DATUM
1998-07-15

REVIDERAD

RAPPORTNUMMER
710170-60:1

Beställare: SCC BYGG OCH MARK AB
Att: Per Lennart Svensson

Objekt: Jetinjektering, Brunkebergstorg, Stockholm

MÄTNING AV BULLER VID JETINJEKTERING.

1 Bakgrund.

Vid Kv Brunkhalsen/Brunkhuvudet, Brunkebergstorg i Stockholm utförs markstabilisering med jetpelare. Metoden bygger på att ett hål med 90 mm diameter borrar i marken. Vid uppdragning av borren injekteras, under högt tryck, en cement-slurry som bildar en jetpelare med ca 1,2 m diameter. Utförandet innebär att omgivningen utsätts för buller. I föreliggande rapport redovisas resultat från en ljudmätning som utfördes 1998-06-11.

2 Mätinstrument.

Ljudnivåmätare Brüel & Kjøer 2231 SCC-nr 17
Filter Brüel & Kjøer 1625 SCC-nr 18
Kalibrator Brüel & Kjøer 4230 SCC-nr 49

3 Resultat.

Utrustningen består i huvudsak av tre bulleralstrande delar:

1. Borrreggat.
2. Högtryckspumpar
3. Kompressor

Ljudmätningar har utförts, separat, vid dessa delar.

3.1 Borrreggat.

Borrreggatet har två bullerkällor, avgasrör och borrhög. Mätning av ljudnivån utfördes i närheten av varje bullerkälla. Ljudeffektnivån har beräknats från ljudnivån. Ljudeffektnivån hos varje bullerkälla redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Beräknad ljudeffektnivå, dB, i oktavband med angiven mittfrekvens, från respektive bullerkälla.

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Totalt, dBA
Avgasrör	106	102	99	94	95	95	87	82	101
Borrigg	102	103	104	101	96	96	88	83	103
Totalt för borrreggat	107	106	105	102	99	99	91	85	105

Då borren går genom berg används en topphammare, som ger betydligt högre ljudnivå. Vid den aktuella mätningen användes topphammaren så sällan att ingen mätning kunde utföras.

3.2 Högtryckspumpar.

Fabrikat: Soilmec 7T-450

Mätning av ljudnivån utfördes med svepmetod på 1 m avstånd från bullerkällan. Ljudeffektnivån har beräknats från ljudnivån. Ljudeffektnivån redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Beräknad ljudeffektnivå, dB, i oktavband med angiven mittfrekvens.

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Totalt, dBA
Högtrycks- pumpar	90	104	96	97	98	97	91	87	106

3.3 Kompressor.

Fabrikat: Atlas Copco Cramo XAHS 365

Mätning av ljudnivån utfördes med svepmetod på 1 m avstånd från bullerkällan. Ljudeffektnivån har beräknats från ljudnivån. Ljudeffektnivån redovisas i tabell 3.

Tabell 3. Beräknad ljudeffektnivå, dB, i oktavband med angiven mittfrekvens.

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Totalt, dBA
Kompressor	107	111	101	96	94	89	84	80	100

SCANDIACONSULT AKUSTIK



Bengt Johansson



Beställare: SCC SVERIGE AB
Att: Per Lennart Svensson

Objekt: Jetinjektering, Brunkebergstorg, Stockholm

BULLER VID JETINJEKTERING JÄMFÖRT MED SPONTNING OCH PÅLNING.

1 Bakgrund.

Vid kv Brunkhalsen/Brunkhuvudet, Brunkebergstorg i Stockholm utförs markstabilisering med jetpelare. Metoden bygger på att ett hål med 90 mm diameter borrar i marken. Vid uppdragning av borsten injekteras, under högt tryck, en cement-slurry som bildar en jetpelare med ca 1,2 m diameter. Utförandet innebär att omgivningen utsätts för buller. I rapport nr 710170-60:1 redovisas resultat från en ljudmätning som utfördes 1998-06-11. I föreliggande rapport redovisas riktvärden för buller från byggarbetsplatser samt jämförelser med de alternativa metoderna spontning och pålning.

2 Riktvärden.

I Naturvårdsverkets publikation 1975:5, "Buller från byggarbetsplatser" anges riktvärden för högsta ljudnivå mätt i öppet fönster. Riktvärdena redovisas i tabell 1 nedan.

Tabell 1. Riktvärden för externt byggbuller angivna som ekvivalent ljudnivå i dBA mätt i öppet fönster.

	<i>Dag kl 07-18, utom lördag, söndag och helgdag</i>	<i>Kväll kl 18-22 samt lördag, söndag och helgdag kl 07-18</i>	<i>Natt kl 22-07 samt lö, sön och helg kl 18-22</i>
Industri	75	70	70
Kontor och liknande arbetslokaler	70	65	-
Bostäder, skolor, vårdlokaler, fritidsbebyggelse och dylikt	60	50	45

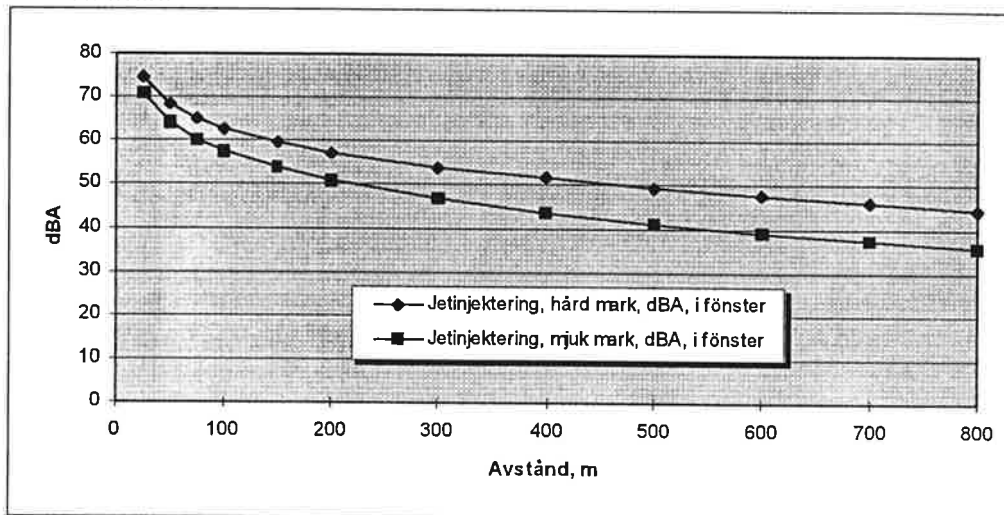
Om byggverksamheten pågår sammanlagt mindre än en månad tillåts dag- och kvällstid en höjning med 10 dBA. Vid högst sex månader tillåts dag- och kvällstid en höjning med 5 dBA.

Momentant ljud nattetid får inte överstiga riktvärdena med mer än 10 dBA. Tabellerade riktvärden avser ekvivalent ljudnivå under dag, kväll respektive natt.

3 Buller vid jetinjektering

Vid jetinjektering är den totala ljudeffektnivån från de tre bullerkällorna, borrhög, högtryckspumpar och kompressor, ca 109 dBA. Om de tre bullerkällorna placeras relativt nära varandra kan de, på stora avstånd, ersättas av en punktformig ljudkälla. I diagram 1 visas beräknad ljudnivå på 1,5 m höjd som funktion av avståndet från bullerkällan.

Diagram 1. Beräknad ljudnivå i fönster i dBA som funktion av avståndet från bullerkällan.



Ur diagrammet kan till exempel läsas att erforderligt avstånd till bostäder dagtid är ca 150 m vid hård mark. Nattetid krävs ett avstånd av ca 800 m för att innehålla riktvärdena.

4 Alternativa metoder.

4.1 Spontslagning.

Typ: Fallhejare, stålspont.

Total ekvivalent ljudeffektnivå är ca 122 dBA. I tabell 2 visas ljudeffektnivåer i oktavband.

Tabell 2. Ljudeffektnivåer i dB vid spontslagning.

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lw, dB	106	104	102	110	116	114	116	114

Typ: Fallhejare, Junttan PM25.

Total ekvivalent ljudeffektnivå är ca 116 dBA. Värden i oktavband finns ej tillgängliga.

4.2 Spontvibrering.

Typ: ICE 223 + grävmaskin Liebherr R942 LC.

Total ljudeffektnivå är ca 114 dBA. I tabell 3 visas ljudeffektnivåer i oktavband.

Tabell 3. Ljudeffektnivåer i dB vid spontvibrering.

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lw, dB	117	117	116	109	108	106	99	89

Typ: Vibro Sennebogen 90 t/m

Total ekvivalent ljudeffektnivå är ca 119 dBA. Värden i oktavband finns ej tillgängliga.

Typ: Liebherr 942, PM 14 med 600 kN vibreringskraft. Spont av typ LX12

Total ekvivalent ljudeffektnivå är ca 124 dBA. Värden i oktavband finns ej tillgängliga.

Typ: Klemm SPM 121, Müller vibrator av typ MS-4HM med 400 kN vibreringskraft och 50 Hz vibreringsfrekvens. Spont av typ LX12

Total ekvivalent ljudeffektnivå är ca 105 dBA. Värden i oktavband finns ej tillgängliga.

4.3 Pålning

Slagning av betongpålar (ABS) med dieselhejare.

Total ekvivalent ljudeffektnivå är ca 124 dBA. I tabell 4 visas ljudeffektnivåer i oktavband.

Tabell 4. Ljudeffektnivåer i dB vid spontslagning med dieselhejare.

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lw, dB	115	115	114	120	120	117	110	105

5 Kommentarer.

Jetinjektering står sig väl bullermässigt mot alternativa metoder. Endast spontvibrering med hög vibreringsfrekvens och låg vibreringskraft är en bättre metod från bullersynpunkt.

SCANDIACONSULT AKUSTIK



Bengt Johansson