



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**

**R51:1979**

**Grundförstärkning av  
befintlig bebyggelse med  
rotpåle**

**En studie av tyska erfarenheter**

**Ulf Eriksson  
Bertil Lindberg**

**Byggforskningen**

**TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET**

R51:1979

GRUNDFÖRSTÄRKNING AV BEFINTLIG  
BEBYGGELSE MED ROTPÅLE

En studie av tyska erfarenheter

Ulf Eriksson  
Bertil Lindberg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
780019-1 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Sänkbrunnar AB, Göteborg.

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

R51:1979

ISBN 91-540-3026-9  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 953281

## INNEHÅLL

1	INLEDNING . . . . .	5
2	UTRUSTNING OCH INSTALLATIONS- TEKNIK . . . . .	6
3	BÄRFÖRMÅGA . . . . .	11
4	TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN . . . . .	16
5	REFERENSER . . . . .	20



## 1. INLEDNING

Rotpålen är en slank, borrad jordgjuten påle som ursprungligen härstammar från Italien (Fondedile) men som vidareutvecklats i Tyskland.

Rotpålens användning i Tyskland är begränsad till Held und Francke Bauaktiengesellschaft, Abteilung: Spezialtiefbau med huvudkontor i München.

Denna rapport beskriver rotpålens egenskaper såsom dessa uppfattas i Tyskland. Den grundar sig på studier av den sparsamma litteratur som finns om pålen samt tre dagars studiebesök vid Held und Francke i Hamburg.

I Sundsvall har i november 1978 påbörjats grundförstärkning av Sundsvalls stadshus. Pålningen utförs med tysk personal och tysk utrustning. De tidiga erfarenheterna från detta arbete har också medtagits i rapporten.

## 2. UTRUSTNING OCH INSTALLATIONSTEKNIK

Rotpålar utförs i dimensionerna 120-240 mm. Den vanligaste dimensionen är dock 200 mm. Pålarna kan installeras i godtycklig riktning. För tillverkningen fordras ett borrhaggregat som kan rotera ner ett foderrör under samtidig uppspolning av jorden med bentonitsuspension, betongblandare och pump för gjutningen samt en kompressor för att åstadkomma ett övertryck under gjutningen. Vidare fordras en bentonitstation där bentonitsuspensionen blandas och renas samt diverse pumpar. För forcering av hinder används rullmejslar, slagborrar, "rymmare", spolmunstycken m m.

Den borrhutrustning som används av Held und Francke består av en eldriven hydraulpump och ett hydrauliskt borrhaggregat som monterats på en gejder. Hela utrustningen kan antingen monteras på en bandvagn (bild 1) eller användas fristående så att borrhaggregat och gejder (bild 2) manövreras från en fristående manöverpulp. Gejderns höjd är 1,80 m och vikten av paketet med borrhaggregat och gejder är uppskattningsvis ca 200 kg. Fyra personer flyttar utan större besvär utrustningen. Pålar kan installeras i utrymmen med minst 1,80 m takhöjd och utrustningen kan transporteras genom öppningar med 0,70 m bredd.

Borrhören är vanligtvis 1 m långa, 200 mm i diameter, för skarvningen försedda med trapetsgångor (bild 3). Det nedersta borrhöret är försett med en skärkrans av hårdmetall.

Vid neddrivningen av foderröret roteras och trycks dessa ner med borrhutrustningen som mothåll (max 2 ton) samtidigt som en bentonit-suspension pumpas ner inuti rören med hjälp av en högtryckspump (20-40 bar). Bentonitvätskan spolade sedan upp på utsidan av rören och för då med sig den lösgjorda jorden (bild 4). Resultatet blir ett hål med större dimension än foderröret och med en rå väggstruktur (bild 5). För två borrhaggregat krävs en bentonitstation på ca  $20-25 \text{ m}^3$  med två högtryckspumpar (bild 6).



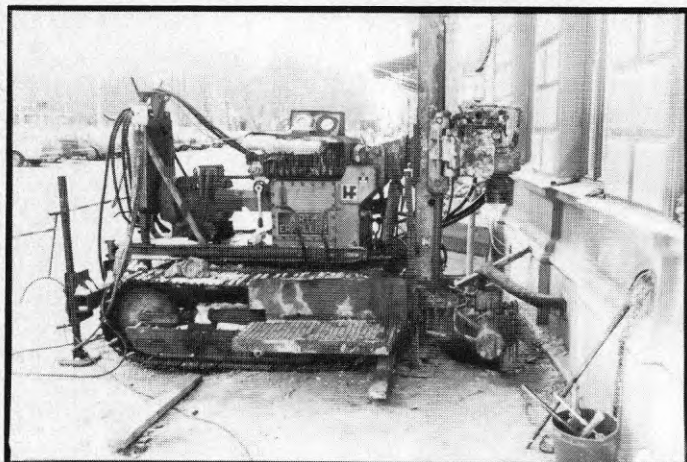


BILD 1. Borrutrustning  
monterad på  
bandvagn.



BILD 3. Borrör  $\phi 200$  mm.

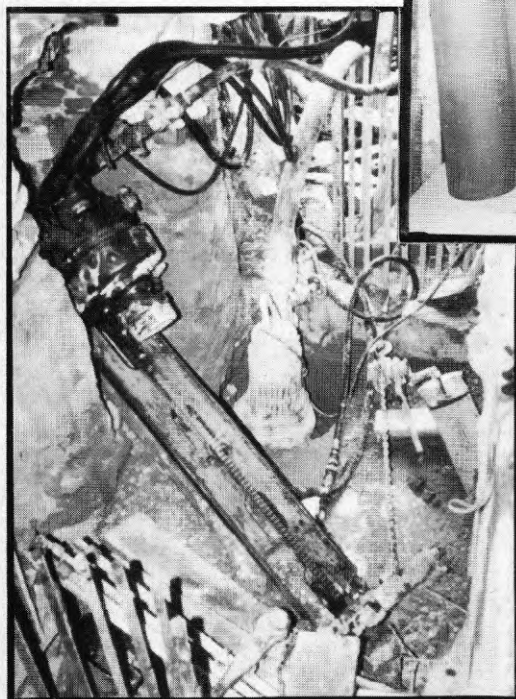


BILD 2. Fristående borraggregat  
och gejder.

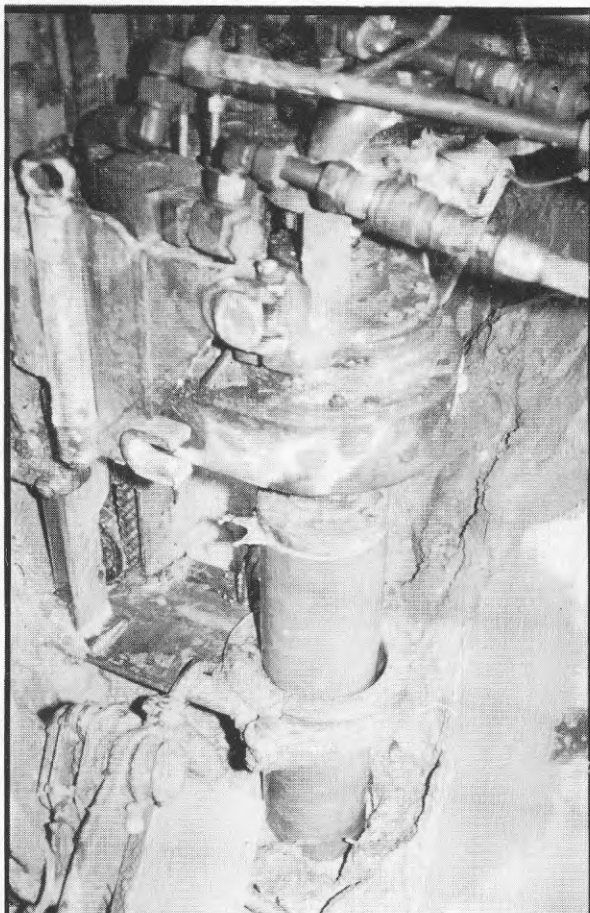


BILD 6. Bentonitstationen

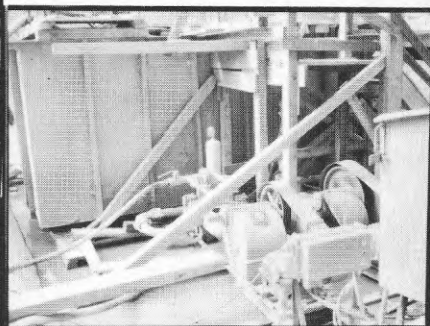
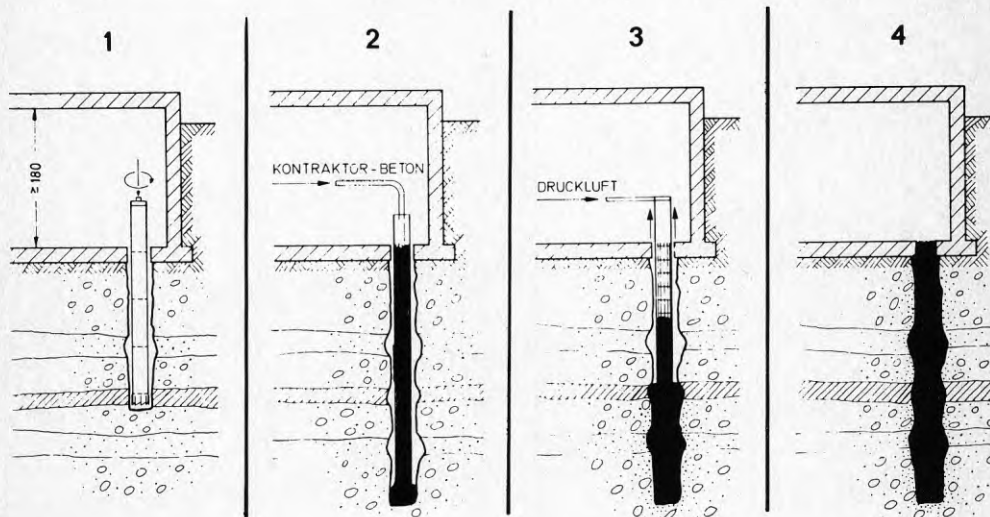


BILD 4. Spolborrning



BILD 5. Färdigborrat hål med större diameter än foder-röret.

De olika skedena vid tillverkning av rotpålar framgår av Fig 1. Efter att borrhöret nerförts till avsedd nivå (1:1) placeras en förtillverkad armeringskorg inuti borrhöret. Armeringskorgarna görs i korta längder och skarvas vanligen med överlappsskarv. Röret fylls därefter med betong (Fig 1:2 och bild 7) och under växelvis uppdragning av foderröret och påläggande av ett övertryck på ca 5-7 atm i foderröret (Fig 1:3 och bild 8) färdiggjuts pålen.



FIGUR 1. Tillverkningskedan för rotpålar. (Ur Held & Franckes katalog).

Gjutningen av pålarna sker under vätska (under bentonit-suspension) och betongen, oftast C 30, är mycket lättflytande och med ballaststorlek 0-7 mm. Vanligen används retarder och luftporbildande medel. Cementåtgången är mer än 400 kg per m<sup>3</sup> betong. Övertrycket vid gjutning gör att betongen får en högre hållfasthet (lägre vct) och att cementlösning pressas ut i den omgivande jorden och därmed ökar mantelbärförmågan (pålen slår rot!). Om inte ett extra formrör används på den översta ca metern blir betongkvalitén på denna del dålig p g a det bentonitslam som alltid ligger kvar runt påltoppen.

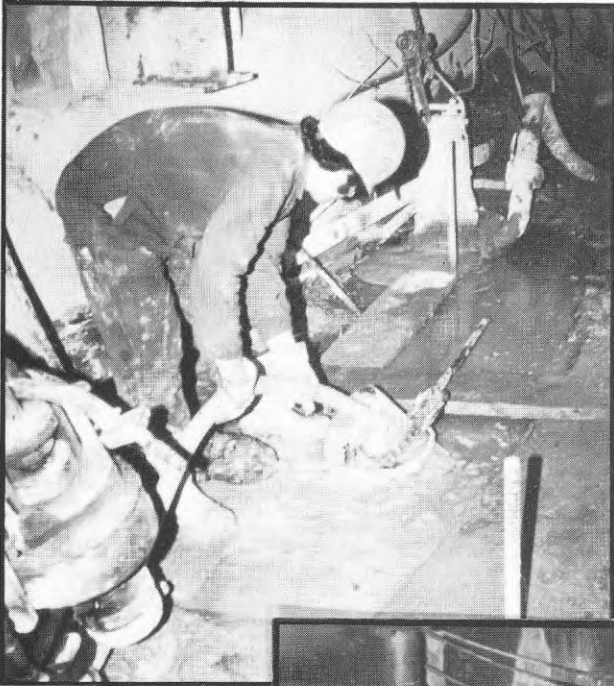


BILD 7. Gjutning av  
rotpåle.

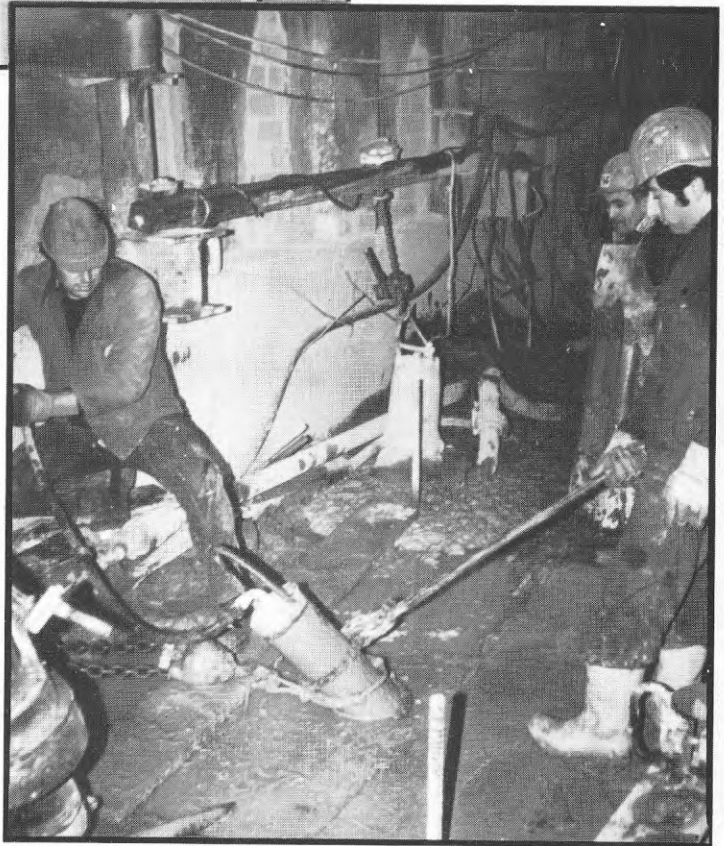


BILD 8. Övertryck vid  
gjutning.

Borrtekniken är vibrationsfri och har låg ljudnivå. Det krävs dock stor vana hos personalen för att åstadkomma ett fullgott resultat. För mycket bentonit i spolvätskan kan t ex göra att bentoniten avlagras på väggarna varvid ett glidskikt uppstår runt den färdiga pålen. För lite bentonit kan antingen medföra att för mycket jord spolas med upp så att hålet blir för stort eller att hålet rasar igen och "nyper" kring borrhöret. De allra flesta borrhinder kan forceras. Exempel finns på genomborrade block, träpålar, tegelmurverk och stålplattor. Detta är dock relativt tidsödande operationer, t ex kan ett meterstort granitblock ta mer än en dag att borra igenom. Vanligen försöker man forcera hinder med enbart det yttre borrhöret men om detta misslyckas kan man tvingas göra en excenterbörning eller liknande inuti foderröret. Stenar av knytnävsstorlek är besvärliga då dessa är för små för att mejsla och för stora för att spola upp. Hinder ersätts ekonomiskt vanligen löpande. Den normala borkapaciteten är ca 30 m under en dag.

### 3. BÄRFÖRMÅGA

Rotpålar bär praktiskt taget hela sin last på mantelytan. Det innebär att de kan användas som dragpålar för laster av ungefär samma storleksordning som vid tryckbelastning. Vid dimensionering av rotpålar bortses helt från spetsmotståndet.

#### 3.1 Jordens bärförmåga

Enligt Frank (3) kan rotpålars bärförmåga beräknas ur formeln

$$P = \gamma g \left[ \epsilon V_0 + \epsilon_1 \cdot \rho \cdot u \left( \frac{t_0^2}{2} + t_0 \cdot t_u \right) \right] \text{ kN (Dörr 1922)}$$

där  $\gamma$  = jordens densitet, t/m<sup>3</sup>

$$\epsilon = \tan^2 (45 + \phi/2)$$

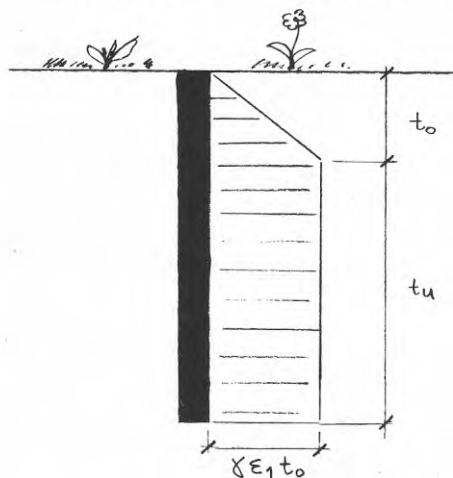
$$V_0 = \text{pålens volym, m}^3$$

$$\epsilon_1 = 1 + \tan^2 \phi$$

$$\rho = \text{mantelfriktionskoefficient}$$

$$\phi = \text{jordens friktionsvinkel, grader}$$

$u$  = pålens omkrets, m  
 $t_0$  = pålens "kritiska" längd, m  
 $t_u$  = pållängd under kritiskt djup  
 $g$  = tyngdaccelerationen,  $m/s^2$



FIGUR 2. Mantelfriktionens fördelning enl Dörr.

Inga uppgifter på mantelfriktionskoefficientens storlek ges dock men det kan antas att den är 1,0 eftersom "brottet" sker i jorden.

Det vanligaste i Tyskland är dock att pålens bärförmåga dimensioneras med hjälp av erfarenhetsvärden och att man vid utförandet verifierar sina antaganden med en eller ett par provbelastningar. De erfarenhetsvärden som anges för mantelbärförmågans gränsvärde är

200-250 kPa	i grus
150 kPa	i sand
100 kPa	i kohesionsjordar (beror på jordens skjuvhållfasthet)

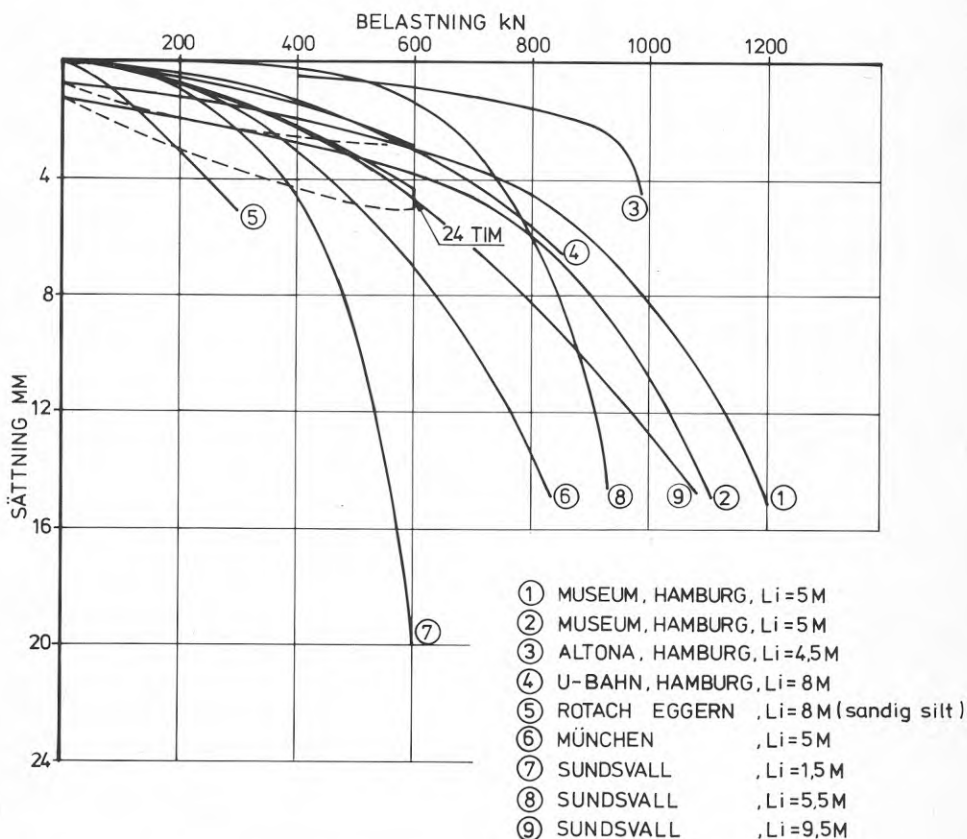
Den stora inverkan som jordarten har på pålarnas bärförmåga framgår klart av de provbelastningar som utförts i Sundsvall. Där har pålar av olika längd installerats i en jordlayerserie som överst består av lera och därunder sandig mo eller moig sand och underst sand. Det visar sig att pålarnas bärförmåga inte ökar något väsentligt med ökande längd så länge de står i den moiga sanden. Det är först när pålarna når ner i den något grövre sanden som bärförmågan radikalt kan förbättras.

Man kan ur de utförda provbelastningarna beräkna pålarnas mantelbärförmåga i olika jordarter. I den moiga sanden, som är extremt jämnkornig med 80 till 85% av kornstorleksfördelningen mellan 0,1-0,5 mm, uppgår mantelbärförmågan endast till ca 20 kPa. I den grövre sanden därunder, som innehåller mer än 30-50% material större än 0,5 mm, är emellertid mantelbärförmågan ca 135 kPa vilket ganska väl överensstämmer med de tyska erfarenhetsvärdena.

Den använda borrhöjningen med bentonitpolning tycks medföra följande. För att erhålla god mantelbärförmåga på pålen bör jorden innehålla korn av varierande storlek, så att finmaterialet i borrhöjningen spolas bort medan det grövre kornskelettet blir kvar och ger god vidhäftning mellan påle och jord. Om denna vidhäftning kan fås tillräckligt god sker brottet i jorden utanför pålen och jordmaterialets hållfasthet blir avgörande för pålens bärförmåga, om inte sker brottet mellan påle och omgivande jord.

Resultaten visar alltså att de tyska erfarenheterna inte direkt kan överföras till svenska förhållanden. Tyska erfarenheter talar för att ".....pålens konstruktiva bärförmåga utnyttjas helt i friktionsjord när denna är minst medelfast lagrad (en relativ lagringstäthet på minst 30%)" (6). Detta är sannolikt fallet med god

marginal på de flesta platser i Nordtyskland där friktionsjordsavlagringar ofta är förbelastade av landisen och dessutom, på grund av sitt kalkinnehåll, ofta cementerade. I våra lösa friktionsjordsavlagringar måste jordens geotekniska egenskaper bestämmas noggrannare än enbart med avseende på kornstorlek.



FIGUR 3. Provb belastningsresultat på rotpålar.

Figur 3 visar resultat från några utförda provbelastningar på rotpålar. Den inbidningslängd  $L_i$  som nämns i figuren är längden i bärkraftig jord, dvs sand i samtliga fall utom för påle nr 5 som står i sandig silt. Pålarnas totallängder varierar mellan 10 m och 22 m och den översta delen, över den bärkraftiga jorden, är i några fall (pålar 1-3 samt 5) utförda inom



foderrör. Överlag gäller dock att bärförmågan hos påldelen över inbindningslängden är liten jämfört med bärförmågan i sand.

Man kan göra jämförelser med de dimensioneringsanvisningar som ges i (8), Utkast till anvisningar för gräv-pålar med större diameter än 0,6 m. Där anges för mantelbärförmågan att

$$P_{\text{mantel}} = \bar{\sigma}'_v \cdot K_s \cdot \tan \delta \cdot \pi \cdot D \cdot L_i$$

Denna formel kan utvecklas till

$$P_{\text{mf}} = K_s \bar{\sigma}'_v \cdot 4 \frac{L_i}{D} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\sigma'_u}{\bar{\sigma}'_v} \right) \left( 1 - \frac{10}{n} \right)^2 \right] \tan \delta$$

där

$P_{\text{mf}}$  = Pålens mantelbärförmåga per tvärsnittsarea,  $\text{kN/m}^2$

$K_s$  = Jordtryckskoefficient

$\bar{\sigma}'_v$  = Medelvärde på effektiva överlagringstrycket inom inbindningslängden,  $\text{kPa}$

$\sigma'_u$  = Effektivt överlagringstryck vid överytan av bärkraftig jord,  $\text{kPa}$

$L_i$  = Inbindningslängd i bärkraftig jord,  $\text{m}$

$D$  = Påldiameter,  $\text{m}$

$\delta$  = Friktionsvinkel mellan påle och jord,  $^\circ$

$n$  =  $L_i/D$

För rotpålar kan  $\delta$  sättas lika med jordens hållfasthet  $\phi$  (friktionsvinkel) och därmed blir jordtryckskoefficienten  $K_s$  den enda faktor som, på grund av pålarnas tillverkningsätt, varierar jämfört med grövre gräv-pålar.

Om man för Sundsvallspålarna räknar fram respektive påles jordtryckskoefficient ur kryplasten<sup>1)</sup> med

-----  
1) Kryplast = Den last där krypningssättningen hos en påle ökar radikalt.

förutsättningen att sandens friktionsvinkel är  $36^{\circ}$  fås att  $K_s$  för rotpålar varierar mellan 1-1,3. Detta kan jämföras med utkastet till grävpålanvisningarna där för större grävpålar  $K_s$  antas öka från 0,1 till 3,0 då jordens friktionsvinkel ökar från  $30^{\circ}$  till  $60^{\circ}$ . Det innebär alltså att jordtryckscoefficienten för en rotpåle beräknad vid kryplasten är ca dubbelt så stor som för en konventionell grävpåle.

### 3.2 Pålelementets bärförmåga

Pålelementets bärförmåga begränsar den tillåtna lasten på dessa pålar till vad som kan tillåtas enligt betongnormer.

Den tyska normen för armerad betong ger en tillåten belastning av 460 kN på en 150 mm påle armerad med 8 st  $\phi 16$ . Om pålen görs 250 mm i diameter och armeras med 8 st  $\phi 22$  ökar den tillåtna lasten till 1020 kN. Beräkningar av tillåten last med hänsyn till knäckningsrisken är nödvändig när pålarna står i lös lera el dyl.

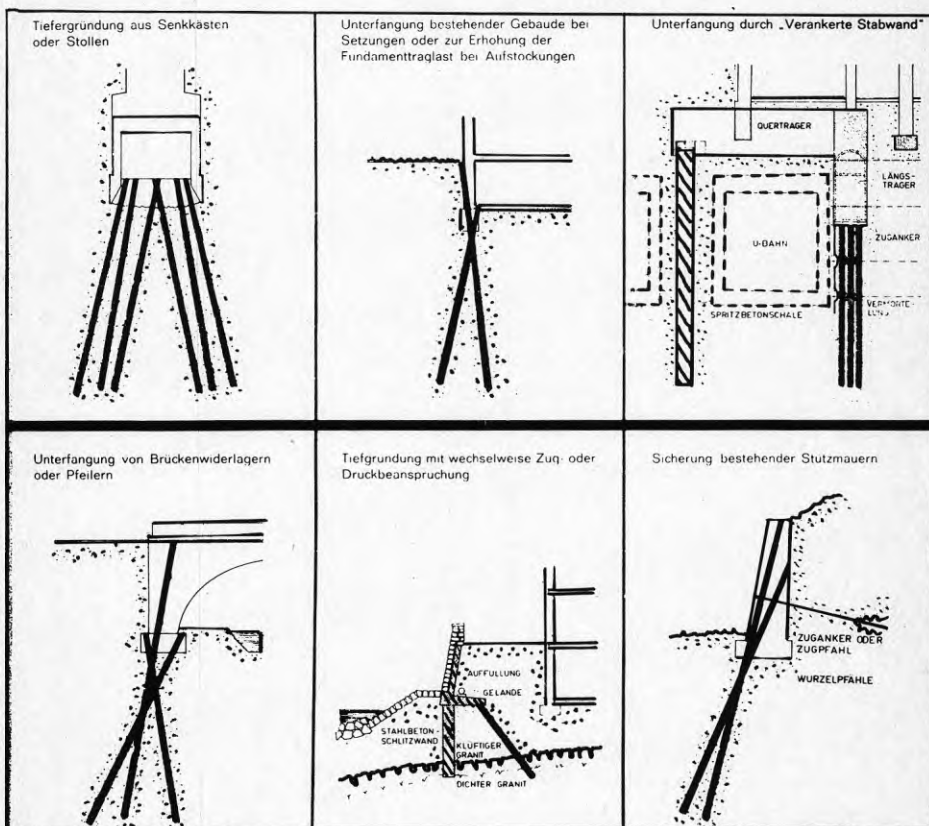
## 4. TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN

Rotpålar kan användas inom många olika områden. På grund av den relativt höga kostnaden kommer de dock främst till användning där andra pålsystem ej kan användas, t ex i trånga utrymmen inomhus, områden där vibrationer ej kan tillåtas eller där små sättningar hos pålarna önskas trots att djupet till fast jord är stort.

Av Figur 4 framgår hur några byggnader grundlagts eller grundförstärkts med rotpålar.

Huvudsakligen används rotpålar till förstärkning av befintlig bebyggelses grundläggning. Grundförstärkningsbehovet i Tyskland kan vara påkallat av sättningar i byggnader men kanske oftare av angränsande nybyggnadsverksamhet, exempelvis tunnelbanearbeten,

som kräver fördjupad grundläggning. I dessa sammanhang har också rotpålar använts som bakåtförankrade pålväggar (bild 9) och som bakåtförankringar (dragpålar) till grävpålevägg (bild 10). Anledningen till att rotpålar valdes som förankringar var i detta fall det knappa tillverkningsutrymmet.



FIGUR 4. Exempel på rotpålars tillämpningsområden.  
(Ur Held & Franckes katalog.)

I Kalifornien, USA, har rotpålar också använts för stabilisering av en slänt för att motverka skred.

De största fördelarna med rotpålar är att den relativt stora mantelbärförmågan i lämpliga jordarter (sand och grus) gör att förhållandevis korta pålar kan användas även där djupet till fast botten är stort samt att borrhingsförfarandet möjliggör att pålar kan

installeras även där jorden innehåller pålningshinder. Vidare ger den behändiga borrarutrustningen möjlighet till enkla anslutningar till bärande konstruktioner genom sin förmåga att borra genom eller tätt intill grundsulor eller bärande väggar.

Held und Francke i Hamburg uppger kostnaden för 200 mm pålar till ca 300 DM per meter påle.

Några tyska normer för rotpålearbeten finns för närvarande inte, men arbetet på dessa har påbörjats.

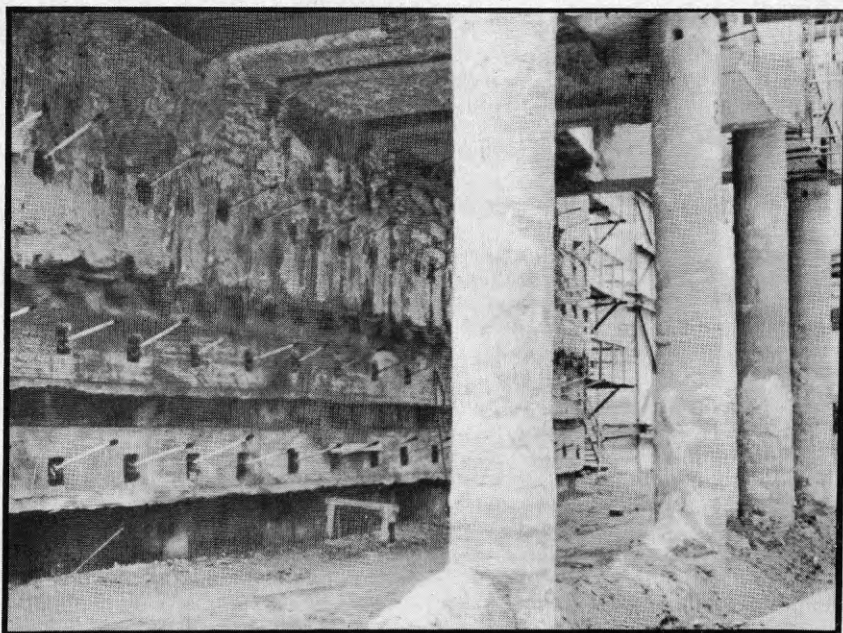


BILD 9. Bakåtförankrad rotpålevägg förstärkt med sprutbetong (ur Held und Franckes katalog).

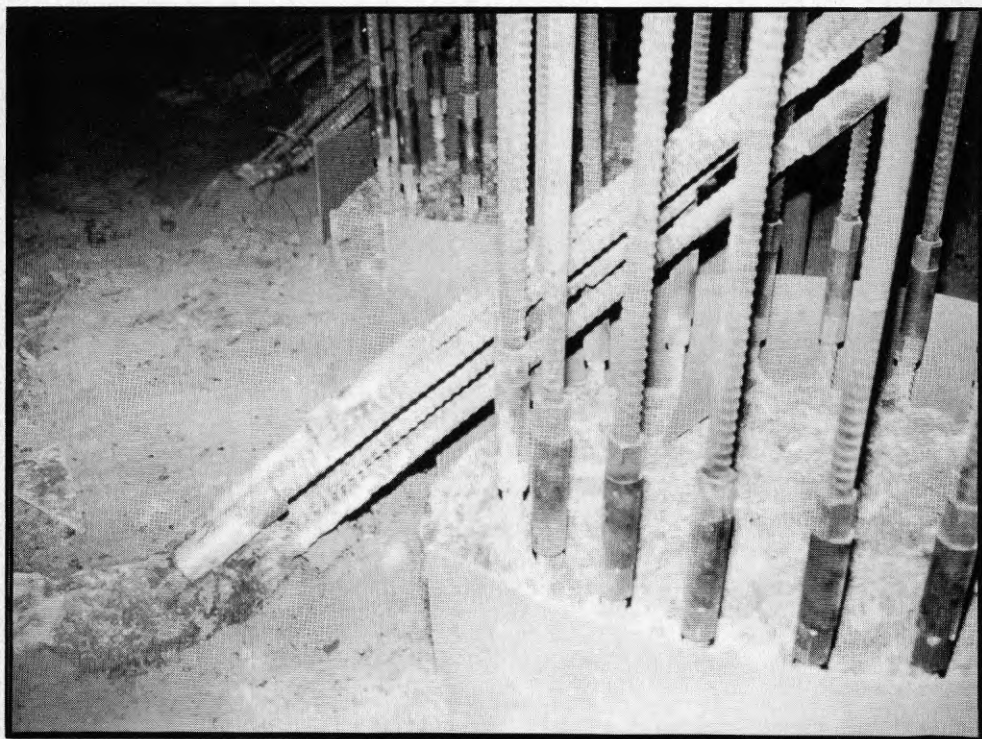


BILD 10. Blivande grävpålevägg som bakåtförankras med rotpålar.

## 5. REFERENSER

- (1) Berggren Bo: Rapport från ett pålsymposium. SGI Notis 7/77 Linköping.
- (2) Frank Anton: Tragfähigkeit von Wurzelpfählen mit anwendungsbeispielen. Sonderdruck von der Baugrundtagung 1970 in Düsseldorf.
- (3) Frank Anton: "Root piles". Small diameter injected bore piles. IVA's Pålskommission. Rapport nr 46. Stockholm 1975.
- (4) Frank Anton: Tragfähigkeit von Spezialbohrpfählen mit kleinen Durchmessern. Seminar Pfahlgründungen 17-18 Mai 1976. Technische Akademie Wuppertal nr 1536.
- (5) Kauer Herbert, Prückner Robert: Unterfahrung des Direktionsgebändes der Deutschen Bundesbahn in Hamburg-Altona. Der Bauingenieur 50 (1975) s 163-167.
- (6) Korek H-W: Small diameter bored injection piles. Ground Engineering, May 1978.
- (7) Massarsch K Rainer: Jordgjutna pålar - en redovisning av vanliga metoder. IVA's Pålskommission, Rapport nr 47. Stockholm 1975.
- (8) Anvisningar - grävpålar, förslag: IVA's Pålskommission, Grävpålegruppen 1978. Rev 78-09-20<sup>x)</sup>
- (9) Bohrpfähle DIN 4014.
- (10) Italian pile system supports slide in its first major US application. Engineering News Record, November 24, 1977.
- (11) Spezialtiefbau, Held & Francke Bauaktiengesellschaft, München, Katalog.
- (12) Held & Francke Bau AG, Hamburg. Personlig kontakt.

<sup>x)</sup> Kommer i slutligt skick att publiceras som IVA Pålskommissions rapport nr 58, 1979.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780019-1 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Sänkbrunnar AB, Göteborg**

**R51:1979**

**ISBN 91-540-3026-9**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600951**

**Abonnemangsgrupp:  
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 1403  
111 84 Stockholm**

**Cirka pris: 15 kr exkl moms**