

**Intern rapport
nr. 1425**

NVF - Stipend; jordnagling

Desember 1989

Veglaboratoriet

Intern rapport

nr. 1425

Gruppe: C

NVF - STIPEND; JORDNAGLING

Vegdirektoratet
Veglaboratoriet

Gaustadalleen 25, Postboks 6390 Etterstad, Oslo 6 Tlf. (02) 63 99 00



Veglaboratoriets Interne rapporter omfatter utredninger, forskningsresultater, studiebesøk, forslag til retningslinjer, foredrag og kurskompendier.

Rapportene er delt i to grupper:

- B: For bruk innen Statens vegvesen
- C: For fri distribusjon

Innholdet eller deler av det må ikke publiseres videre uten tillatelse fra Veglaboratoriet.

prosjekt/oppdrag: Q-34 Armert jord

seksjon: 47 - Geoteknisk

saksbehandler: Roald Aabøe og Frode Oset

/ RDA

dato: Desember 1989



VEGLABORATORIET

rapportsammendrag

X	Intern rapport
	Laboratorierapport
	Oppdragsrapport

111	A	Rapportstatus*) N	Seksjon/fylke 47	Prosjekt Q-34	Gruppe: C	nr. 1425
-----	---	----------------------	---------------------	------------------	--------------	----------

1 2 3 4 5 21 31 41 51 61 71

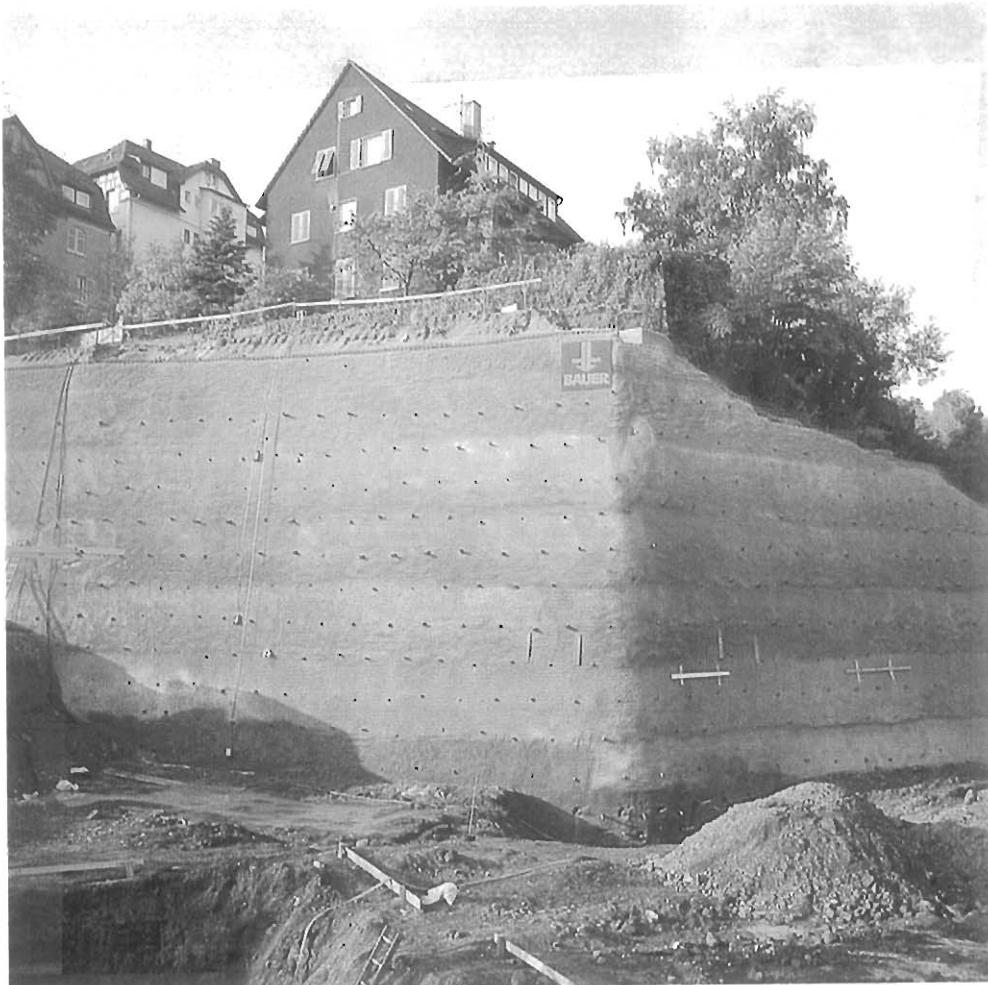
*) N = ny
O = oppdatert

**) FoU = forskning og utvikling K = konferansebidrag O = oppdrag
F = forskrifter/normer A = artikkel

TITTEL	212	A	NVF -stipend; Jordnagling				
SAKS-BEHANDLER	221	A	Navn Roald Aabøe	Institusjon Veglaboratoriet			
		B	Frode Oset	"			
		C					
RAPPORT DATA	421	A	Rapporttype**) FoU	Dato Des. -89	Erstatter rapport nr:		
		B	Totalt sidetall 26	Språk Norsk			
		C	Antall fotos	Ant. figurer	Ant. tabeller	Ant. litt.henv.	
		D	Sammendrag i andre språk			UTM ref.	
SAMMENDRAG	511	A	<p>Jordnagling er en variant av armert jord som har hatt økende utbredelse de siste femten årene.</p> <p>Metoden brukes til sikring av skråninger for byggegrop og vegskjæringer, fortrinnsvis i granulære masser. Den har også vist seg anvendelig til stabilisering av tørrmurer.</p> <p>Utgravingen skjer i trinn på 1 - 1,5 m. Armeringen (naglene) installeres i forborede hull som injiseres med sementmørtel. Overflaten dekkes med armeringsnett og sprøytebetong.</p> <p>Rapporten gir en beskrivelse av metoden samt inntrykkene fra to studiereiser til Frankrike og Vest-Tyskland.</p>				
FAG-OMR.	611	A	Stabilitet og setninger			IRR D kode 42.1	
		B	Bæreevne og jordtrykk			42.2	
		C					
NØKKELOD	621	A	Armering			3471	
		B	Jordart			4156	
		C	Støttemur			3369	
		D	Stål			3442	
		E	Betong			4755	
		F					
		G					
		H					

INNHOOLD

	side
1. Innledning.....	1
2. Beskrivelse av metode og utvikling.....	1
2.1 Bruksområde og utførelse.....	2
2.2 Dimensjoneringsprinsipper.....	8
3. Studiereiser	
3.1 Frankrike.....	11
3.2 Vest-Tyskland.....	16
4. Metodens anvendbarhet i Norden.....	22
5. Referanser.....	23



Stuttgart: 1700 m² of permanent soil nailing, height: 14.50 m (1979)

1. INNLEDNING

Våren 1988 fikk O.ing Roald Aabøe og O.ing Frode Oset tildelt stipend på kr. 15000 hver fra Nordisk Vegteknisk Forbund for å studere jordnagling (soil nailing).

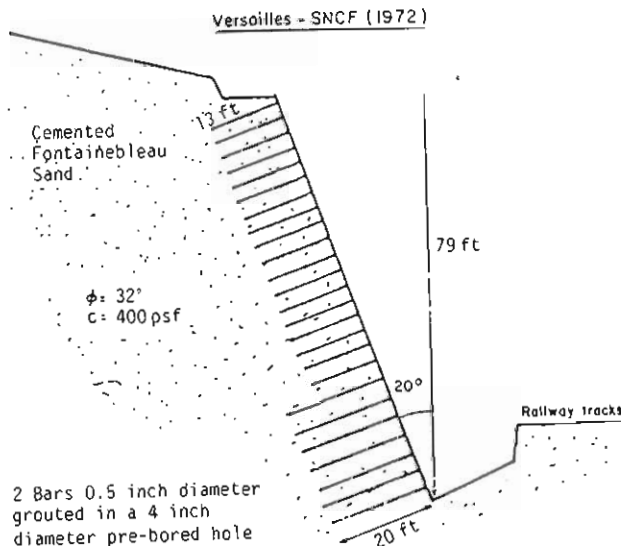
Formålet var å skaffe seg innsikt i metoden og dens anvendelsesmulighet som sikring for skråninger og byggegroper.

Stipendene ble brukt til to studiereiser til henholdsvis Frankrike og Vest-Tyskland. Målet var å få kontakt med både forskningsinstitusjoner, konsulenter og entreprenører som arbeider med jordnagling.

2. BESKRIVELSE AV METODE OG UTVIKLING

I det følgende er det gitt en beskrivelse av metodens utvikling, dens utførelse og hvilke dimensjoneringsprinsipper som legges til grunn ved prosjektering.

Jordnagling har vært i bruk som sikringsmetode for skråninger i løsmasser siden 1972. De første prosjektene gjaldt sikring av skjæringsskråninger i sementert sand for jernbanen nær Versailles (Rabejac og Toudic, 1974). Før dette hadde tilsvarende teknikk vært brukt blant annet i forbindelse med tunnelsikring ("Austrian tunneling method").



Figur 1. Første anvendelse av jordnagling som støtte-
mur (TRB, 1987).

Utviklingen av jordnagling som metode har særlig foregått i Frankrike og Tyskland. Siden 1975 har det vært investert store midler i forskning for å finne fram til egnede dimensjoneringsmetoder. Det har vært utført omfattende fullskalaforsøk og instrumentering av konstruksjoner.

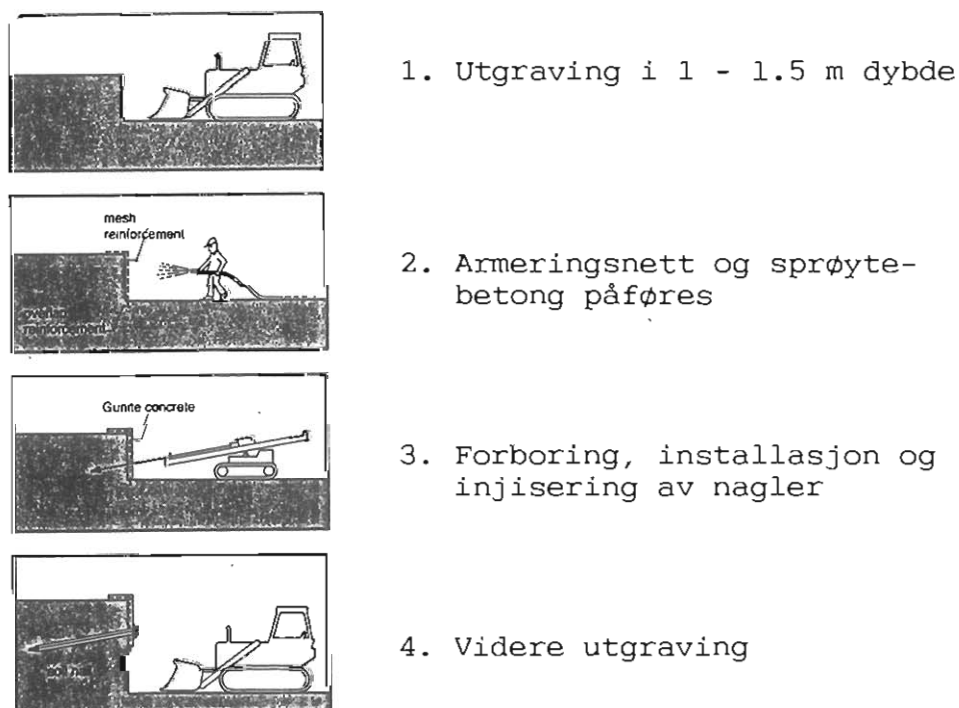
Et anslag basert på våre erfaringer og litteraturstudium tyder på at det i Frankrike bygges omlag 50 konstruksjoner hvert år, hvorav 5 permanente. Gjennomsnittsstørrelsen på prosjektene er 1000-2000 m². I Vest Tyskland har omfanget ligget på 25-50 % av dette. Fram til 1986 lå Nord Amerika på omtrent samme nivå som Vest Tyskland, men mye tyder på at omfanget der er sterkt økende. I tillegg er det rapportert om en del andre land hvor metoden er i sterk framgang, spesielt i Japan.

2.1 BRUKSOMRADE OG UTFØRELSE

Jordnagling brukes til å stabilisere jordskråninger som ellers ikke har tilstrekkelig egenstabilitet, enten i kort- eller langtidstilstand.

Naglene skal fungere som armering i jordmassene og oppta strekk- (hovedsaklig) og skjærkrefter, i prinsippet på samme måte som stålstrips og armeringsnett gjør det i de "tradisjonelle" armerte jordkonstruksjonene som har vært bygget i Norden i de seneste årene.

Forskjellen ligger i at man i forbindelse med jordnagling ikke graver ut det jordvolum som skal armeres. Naglene bores eller drives inn i de stedlige massene. Framgangsmåten er vist på figuren nedenfor.



Figur 2. Framgangsmåte ved jordnagling

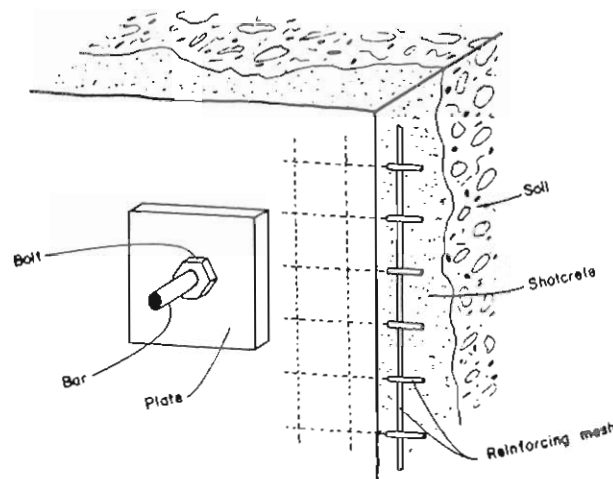
Utgravingen foretas i lag av 1 - 1.5 m tykkelse, avhengig av korttidsstabiliteten for de aktuelle massene. Helningen på skråningen er normalt 0 - 20° med vertikalen.

Fronten på graveskråningen dekkes til med sprøytebetong armert med sveiset armeringsnett. Tykkelsen på sprøytebetongen er vanligvis 10 - 20 cm, avhengig av jordart, høyde og forventet levetid for konstruksjonen. Frontkledningens hensikt er primært å hindre lokal utrasing av masse mellom naglene.

Installasjon av naglene kan skje enten ved at de drives inn i massene eller ved at de plasseres i forborede hull som deretter injiseres med sementmørtel. Drevne nagler forutsetter relativt homogene masser uten særlige forekomster av grov grus og stein.

Forborede og injiserte nagler er mest anvendt. Borhullene har vanligvis en diameter på 5 - 10 cm. Det brukes nagler av høyfast stål med en diameter på 20 - 50 mm, som installeres med en senteravstand på 1 - 1.5 m. Naglene installeres ofte med en vinkel på 10 - 15° med horisontalen, og injiseringen blir da utført ved at man pumper mørtelen inn i hullene uten bruk av overtrykk.

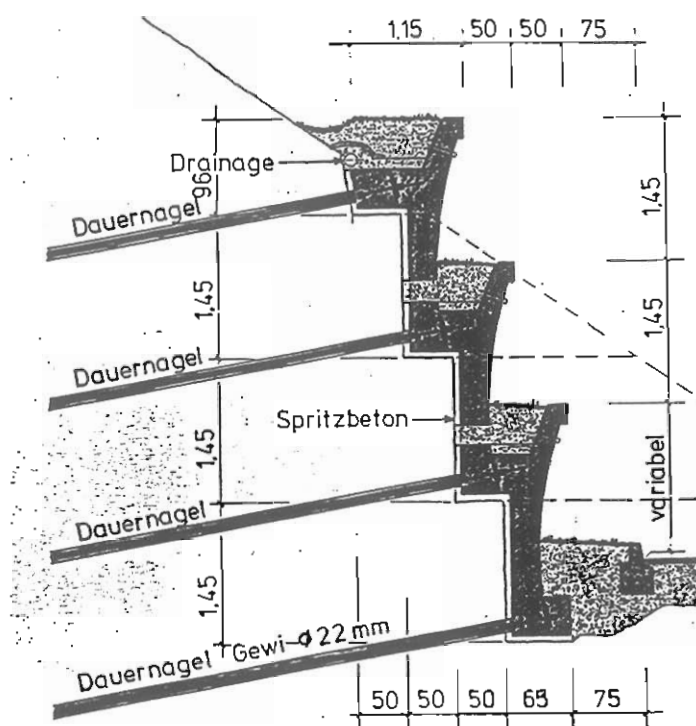
Naglene festes til frontkledningen med påskrudde stålplater (ca. 30 x 30 cm), uten å forspennes.



Figur 3. Typisk utførelse av frontkledning (TRB 1987)

Tykkelsen og utførelsen av frontkledningen vil avhenge av konstruksjonens levetid. For permanente konstruksjoner blir det gjerne påført et nytt lag sprøytebetong utenpå naglehodene. Av hensyn til det visuelle inntrykket har det i noen tilfelle vært brukt lette betongpaneler som kledning. I andre tilfelle har

fronten fått en trinnvis avtrapping hvor trinnene plantes til med vekster som skjuler sprøytebetongen.



Figur 4. Trinnsvis avtrapping.

Jordnagling har hittil hovedsaklig vært brukt på steder hvor permanent grunnvannstand ikke har stått høyere enn utgravingsnivået. Overflatevann på terrenget bakenfor er tatt vare på ved hjelp av avskjæringsgrøfter, samtidig som det er installert perforerte drenerør i de armerte jordmassene og lagt inn striper av drenerende tekstiler e.l. mellom jorda og sprøytebetongen for å sikre mot poretrykksoppbygging.

De viktigste likhetstrekkene med tradisjonelle støttekonstruksjoner av armert jord (Vidalprinsippet) kan oppsummeres slik:

- Armeringen blir montert uoppspent i jorda. Kreftene i armeringen blir mobilisert ved hjelp av deformasjon i jorda.
- Armeringskreftene opprettholdes ved hjelp av friksjon mellom jorda og armeringselementet.
- Forblendingen av den armerte konstruksjonen er tynn; prefabrikerte elementer for armert jord og sprøytebetong (vanligvis) for jordnagling influerer ikke på totalstabiliteten i vesentlig grad.

De viktigste forskjellene er nevnt i det følgende:

- Jordnagling innebærer at man bygger seg ovenfra og

ned i takt med utgravingen, mens tradisjonelle armert jord-konstruksjoner blir bygget nedenfra og opp. Dette har innflytelse på den spenningsfordelingen som utvikles i armeringen i byggefasen.

- Jordnagling er en grunnforsterkning av de stedlige jordmasser. Armert jord innebærer en utskifting med et valgt materiale, med de kontrollmuligheter det gir.
- Injeksjonsteknikk er vanligvis brukt for å knytte jordnaglene til den omkringliggende jord. Last blir overført langs injiseringskappen til jorda rundt.

Faktorer som har bidratt til den økende interessen for jordnagling :

- Økonomisk gevinst: I egnede masser kan metoden være prismessig konkurransedyktig med spuntvegger, Berlinerwand m.m.
- Utstyr: Borerigg for armeringen og pumpeutstyr for sprøytebetongen er små og lette, mobile og relativt stillegående. Dette er fordelaktig på trange byggeplasser og i tettbygde strøk.
- Fleksibilitet: Jordnagling kan utføres raskt og lett tilpasses variasjoner i utformingen av utgravingen.
- Utførelse: Feltforsøk viser at svært små bevegelser skal til for å mobilisere armeringskreftene. Maksimale horisontalforskyvninger ligger i størrelsesorden 0.2 - 0.3 % av høyden. Utførelse av naglingen umiddelbart etter hver gravefase minsker faren for forstyrrelser av grunnen og skade på tilstøtende konstruksjoner.

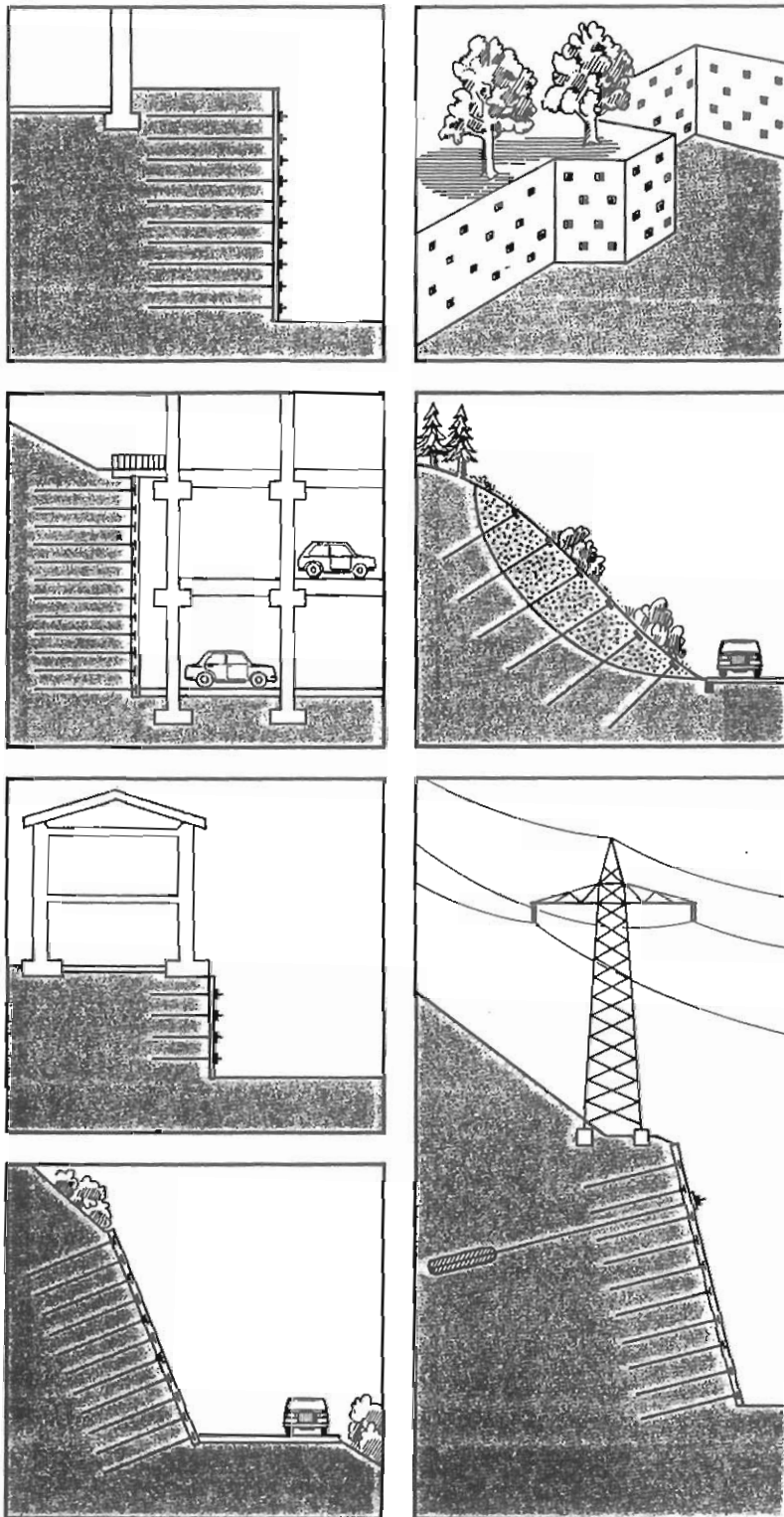
I enkelte prosjekter har jordnagling vært brukt i kombinasjon med forspente stag for å hindre skader på nærliggende bygg.

Ulemper og begrensninger for metoden :

- Jordnaglingen medfører utgraving i faser på mellom 1 og 2 meter. I tiden før naglingen og sprøytebetongen blir utført må korttidsstabiliteten av massene tåle dette.
- Det bør ikke være grunnvannsspeil over bunnen av utgravingen.
- Utgravinger i bløt leire er lite ønskelig. Den lave friksjonsmotstanden medfører et tett mønster av lange nagler.
- Dersom naglingen utføres i telefarlige masser må frostisolasjon vurderes.

Anvendelsesområder.

I figur 5 er en del vanlige anvendelsesområder for soil nailing vist.

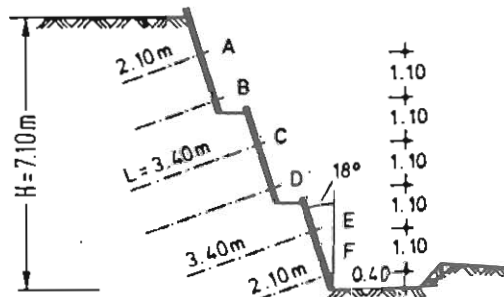


Figur 5. Anvendelsesområder.

Frostproblemer.

Schwing og Gudehus (1988) har beskrevet problemene med frost som kan være en avgjørende faktor her hjemme. Et sammendrag følger her:

I forbindelse med bygging av en veg i Vest Tyskland var det nødvendig å ta ut en halvskjæring med en høyde på 7 meter og en gjennomsnittlig skråning på 70° . For å stabilisere skjæringen ble soil nailing utført sammen med jordterrasser. Terrassene ble fylt opp med matjord og beplantet for delvis å skjule sprøytebetongen.



Figur 6. Tverrprofil av skjæringen.

Grunnvann ble ikke registrert i skråningen. En friksjonsvinkel på 35° ble valgt på den leirig massen.

Målinger

Hovedhensikten med instrumenteringen var å måle krefter og forskyvninger etter uttaket av skjæringen. Spesielt interessant var effekten av gjentatte fryse/tine sykluser.

I en del av den naglede veggen hadde følgende instrumenter blitt installert:

4 kraftmålere for å måle krefter på naglehodene.

4 ekstensiometere for å måle forskyvning av sprøytebetongen (2 i lag D og 2 i lag E).

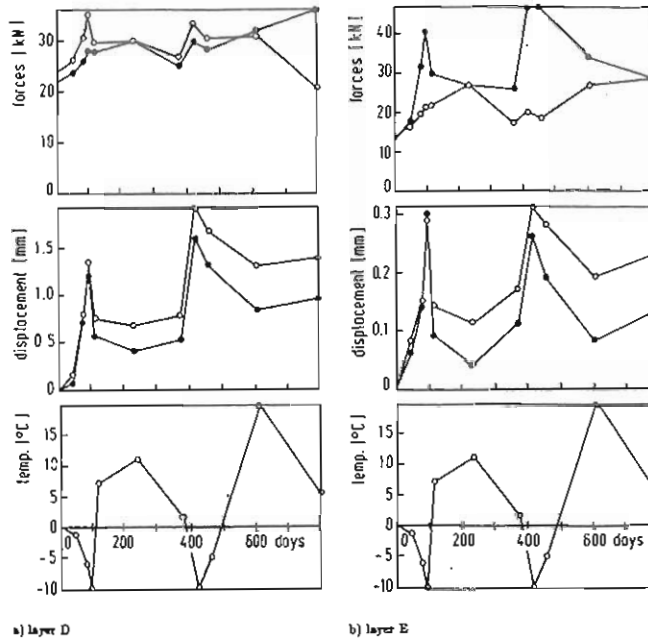
Etter utførelsen av skjæring har det i løpet av en periode på 2,5 år blitt utført 11 målinger.

Det er en tydelig påvirkning fra frost på naglekraftene og en økning av forskyvningen på veggen - begge øker med varigheten av frosten.

Ved lave temperaturer var naglekraftene opptil dobbelt så

store som i startfasen både i øvre og nedre lag.

Etter første frostperiode viste målingene en økning på naglekraftene utifra startfasen. I løpet av neste frostperiode med omlag samme temperatur nådde de igjen samme verdi som i første syklus. Forskyvningene opptrådte på samme måte med en økning avhengig av frostperiodens varighet. Målingene i foten av veggen viser en større forskyvning enn målingene høyere opp.



Figur 7. Temperatur, krefter og deformasjon.

Målingene viser klart behovet for å vurdere massenes telefarlighet og eventuelt behovet for frostbeskyttelse ved prosjektering.

2.2 DIMENSJONERINGSPRINSIPPER

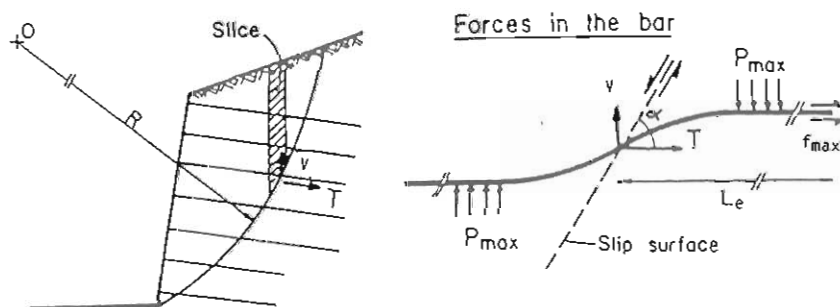
Dimensjonering av jordnaglede konstruksjoner baseres vanligvis på tradisjonelle stabilitetsberegninger hvor man på forskjellige måter forsøker å ta hensyn til naglenes strekk- (uttrekk-) og skjærkapasitet.

I Tyskland anvendes en metode som kun tar hensyn til naglenes strekk-kapasitet (Gässler og Gudehus, 1981 og Gässler, 1987), mens man i Frankrike også tar med effekten av naglenes skjærkapasitet og bøyestivhet ved beregning av stabiliteten til det armerte jordlegemet (Schlosser, 1983).

Den franske metoden tar for seg fire bruddkriterier:

- jordas skjærkapasitet (Mohr - Coulomb)
- friksjon langs naglen mot jorda

- jordtrykk normalt på naglene
- naglenes skjærkapasitet



Figur 8. Dimensjonering av jordnaglede konstruksjoner, fransk metode (Schlosser, 1983)

Metoden tar utgangspunkt i en lamellemetodeberegning. Effekten av armeringen er basert på en del forenklinger. Blant annet regnes friksjonen mellom naglene og jorda som konstant.

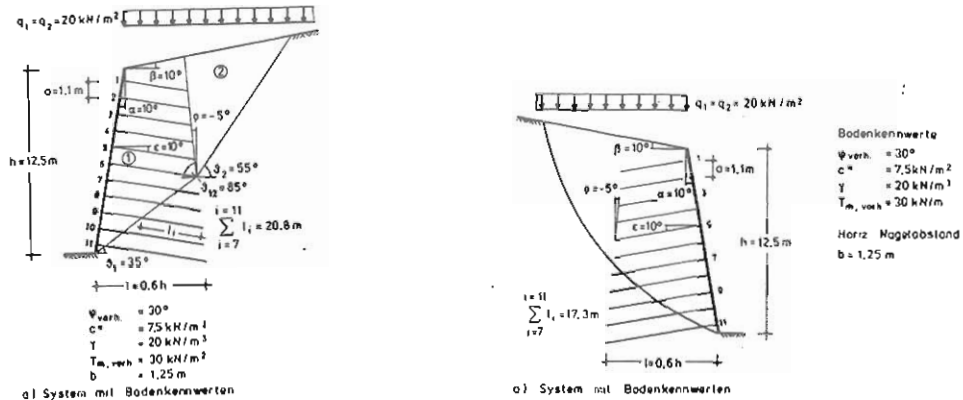
Erfaringer tyder på at friksjonskraften pr. lengde-enhet bestemt ved uttrekksforsøk er praktisk talt konstant for en gitt jordart, uavhengig av dybden.

Dimensjoneringen baseres ofte på slike erfaringsverdier. Uttreksforsøk blir så utført på utvalgte nagler etter at konstruksjonsarbeidene har kommet i gang, og nagletetthet og -lengde eventuelt endret i samsvar med resultatene.

Naglenes dybelvirkning vil avhenge av vinkelen med glidesnittet, diameteren og stivheten i forhold til jordmassene.

I vanlige jordnaglede konstruksjoner er naglene relativt fleksible. Parameterstudier har vist at naglenes bøyestivhet her har begrenset innvirkning på den beregnede sikkerhetsfaktor (mindre enn 6 % i følge Juran (1989)).

For praktisk dimensjonering kan en derfor ofte anvende en forenklet analyse som forutsetter at naglene kun påkjennes av strekk-krefter. Dette er bakgrunnen for den tyske dimensjoneringsmetoden. Den tar for seg to bruddmekanismer for en stabilitetsanalyse, enten translasjon av ett eller to stive legemer eller rotasjon av ett stivt legeme.



a) Translasjon

b) Rotasjon

Figur 9. Stabilitetsberegning av jordnaglet vegg. Tysk metode (Gässler, 1987).

Gyldigheten av disse bruddmekanismene er blant annet verifisert gjennom modell- og fullskalaforsøk hvor konstruksjoner har blitt belastet til brudd (Gässler 1987).

I kohesjonsløse jordarter synes det som om mekanismen med translasjon av to stive legemer er den mest kritiske for tilnærmet vertikale vegger. For slakere helninger og/eller lange nagler i de øverste radene er rotasjonsmekanismen (glidesirkel) den kritiske.

For tilnærmet vertikale vegger er forskjellen liten mellom de to mekanismene. I jordarter med middels eller høy kohesjon og for slakere skråninger er glide-sirkelen den klart kritiske.

Felles for de franske og tyske dimensjoneringsmetodene er at de kun gir et uttrykk for den totale sikkerheten for hele konstruksjonen. De gir ikke spenningsvariasjonene langs de enkelte naglene. Som vanlig for stabilitetsberegninger får en heller ikke beregnet sammenhengen mellom mobiliseringsgrad og deformasjon. Disse må vurderes på empirisk grunnlag.

3. STUDIEREISER

3.1 FRANKRIKE

Vi ankom Paris en deilig (vår)dag i juni hvor vi gjennom vår kontakt B. Soyez på Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - heretter kalt LCPC hadde fått ordnet med et fint hotell for den uken vi skulle tilbringe der.



Av LCPC var vi blitt lovet informasjon på løpende bånd fra konsulenter/entreprenører og LCPC sine ansatte, samt befaringer av soil nailing jobber. Det viste seg for såvidt å stemme selv om utbyttet ble noe magert med en konsulent og en entreprenør, samt et par ekskursionsjoner. For øvrig var LCPC meget gjestfrie og hadde laget et program som var interessant nok men med vesentlig mindre soil nailing enn vi kunne ønsket oss. Lærepengen her var at det er bedre å ta kontakt direkte enn å la det gå via andre. På den annen side var det en heller dårlig respons fra 2 store entreprenørfirmaer vi kontaktet. Programmet LCPC hadde laget for oss var som følgende:

6 juni

- Generell diskusjon om program etc.
- Soil nailing og geotekstiler.

Phillippe Delmas og Bertrand Soyez

7 juni

- Soil nailing Teori ved Blondeau fra konsulentfirmaet Terrasol som har spesialisert seg på metoden. De ansatte der var for øvrig i stor grad tidligere ansatte på LCPC.
- Anleggsbesøk soil nailing.

8 juni

Besøk hos Soletanche. Entreprenørfirma med stor erfaring i bruk av metoden.

9 juni

Befaring i Parisområdet.

Berche

10 juni

- Vegbygging på bløt leire.
- Gjensidig erfaring med bruk av lette masser - Ekspandert polystyren

Soyez

- Omvisning i laboratoriet til LCPC

Josseaume

- Teleoverføring av data

Moreau

- Avslutning soil nailing.

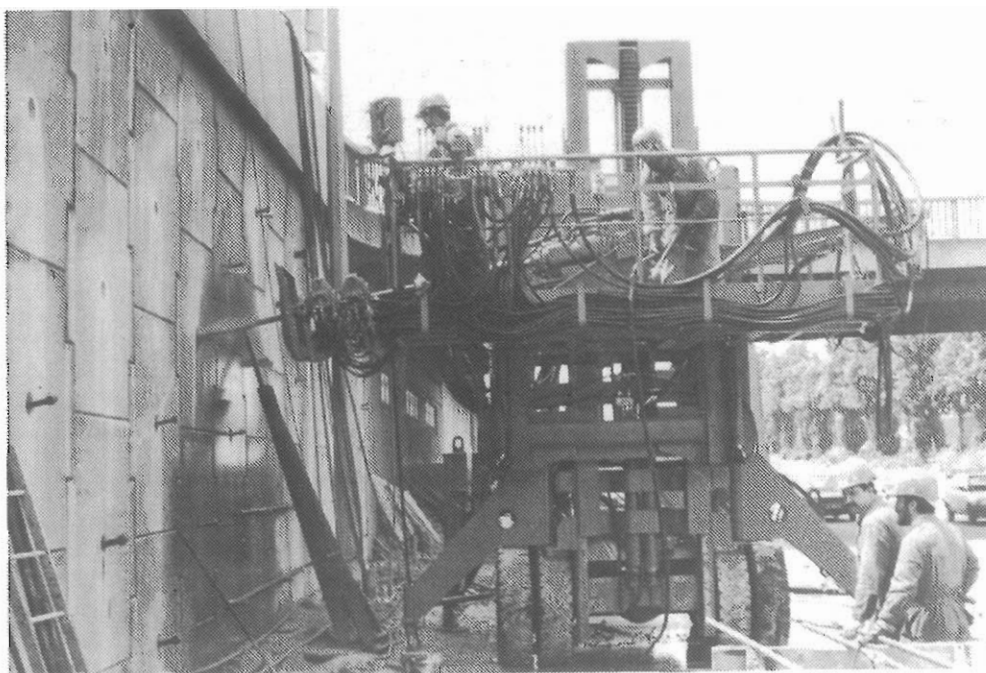
Når det gjelder temaene som ikke berørte soil nailing kommer vi ikke inn på dette i denne rapporten bortsett fra at vi var spesielt imponert over deres teleoverføring av data. Ved hjelp av satelitt kunne de på LCPC sitte og overvåke instrumenterte konstruksjoner og dersom resultatene nådde visse satte grenseverdier ble de oppringt. Noe å tenke på for oss?

Når det gjelder soil nailing nevner vi her kun en del stikkord for temaer som var oppe til diskusjon - resten er å finne under den mer generelle beskrivelsen av metoden.

Beregningsmetodikken som ligger til grunn for den franske dimensjoneringmetoden ble gjennomgått av Blondeau og Delmas, i lys av aktuelle konstruksjoner og fullskala-forsøk.

Besøket hos Soletanche - en av de største entreprenørene var interessant og ga oss nyttige kontakter og mye informasjon. Likevel hadde vi vil følelsen av at de samtalene vi hadde med direktøren i firmaet (som riktignok tidligere hadde jobbet på LCPC og hadde lang erfaring med soil nailing?) med fordel kunne vært lagt noe lenger ned i hierarkiet. De var selvfølgelig interessert i å vise oss hele spekteret av metoder de hadde slik at soil nailing kom noe i bakgrunnen.

Vi ble tatt med på 2 befaringer av LCPC. Den første var La Periferique, sentralt i Paris, hvor en armert jord konstruksjon (Vidal prinsippet) utført av Reinforced Earth Company, ble erstattet med soil nailing pga. korrosjonsproblemer i stålet. Det hadde etterhvert vist seg at armert jordkonstruksjonene bygget i 70 årene i Paris med såkalt inox stål (i motsetning til det galvaniserte stålet som brukes i Norge idag) for en stor del var iferd med å kollapse. Det var i hovedsak mutterne og boltene til sammenbinding med fasadeelementene som var ødelagt. Totalt skulle 70 000 m² armert jord konstruksjoner av denne typen skiftes ut. Av dette var totalt 40000 m² skiftet ut. De resterende ble kontinuerlig fulgt opp med deformasjonsmålinger. Det var tydelig en noe sensitiv sak - så vidt vi forstod var den til behandling av rettsvesenet slik at alle opplysninger ikke var tilgjengelig.



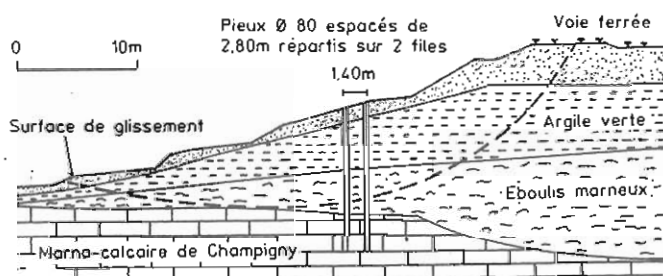
Figur 10. Boring av hull for innstallasjon av nagler.

Armert jord konstruksjonen, som var bygget i 70 årene var en rampe til en motorvei og var bortimot 5 meter høy. Massene i rampen bestod av sandige masser. Det ble boret og injisert en nagle i hvert av betongelementene i den eksisterende fasaden. Det ble benyttet 7 meter lange nagler med en diameter på 40mm. Kostnadene for denne reparasjonen lå på ca 2200 Kr/m² eller omtrent samme pris som kostnadene med å bygge armert jord konstruksjonen. Prisen var nærmere 60% dyrere enn normalt pga at konstruksjonen lå tett inntil en motorvei.



Figur 11. Veg av armert jord reparert med jordnagling.

I tillegg besøkte vi en jernbanefylling for det superraske toget TGV i Boussy St. Antoine mellom Lyon og Paris. Jernbanelinja krysser her en dal og det hadde i mange år vært setninger på fyllingen som stadig var blitt rettet opp. I 1977 var det behov for en løfting av linja med fra 10- 30 cm i løpet av et halvt år. Det ble utført en rekke geotekniske undersøkelser og konstatert en skjærflate ca 7 meter under fyllingsfot.



Figur 12. Tverrprofil Boussy-Saint-Antoine.

Under jernbanefyllingen består massene av en grønn leire, en bløt kalkholdig masse (mergel) og kalkstein. Her hadde de brukt en for oss helt fremmed teknikk innen soil nailing for å stoppe glidninger i fyllingen. Det ble besluttet å sette ned 2 rekker med 80 cm betongpeler (borede peler) med en senteravstand på 2.80 meter. Det var stor usikkerhet om hvor mye en slik pelegruppe betydde for stabiliteten og det ble derfor besluttet å erstatte 3 av betongpelene med instrumenterte stålrør. Det er målt momenter i 20 forskjellige nivåer og det er montert ekstensiometere i 6 forskjellige nivåer. Inklinometer er også montert for å se på deformasjonen av pelene og bevegelse av jorda.



Figur 13. Instrumentering.

Resultatene viser at behandlingen har svart til forventningene. Bevegelsen av massene har blitt redusert fra 3-4 cm til 3-4 mm. Totalstabiliteten var forbedret med inntil 20 %. Mesteparten av de mobiliserte kreftene er registrert de første 10 månedene med den største forbedringen umiddelbart etter utførelsen. Metoden burde derfor være godt egnet som kriseløsning.

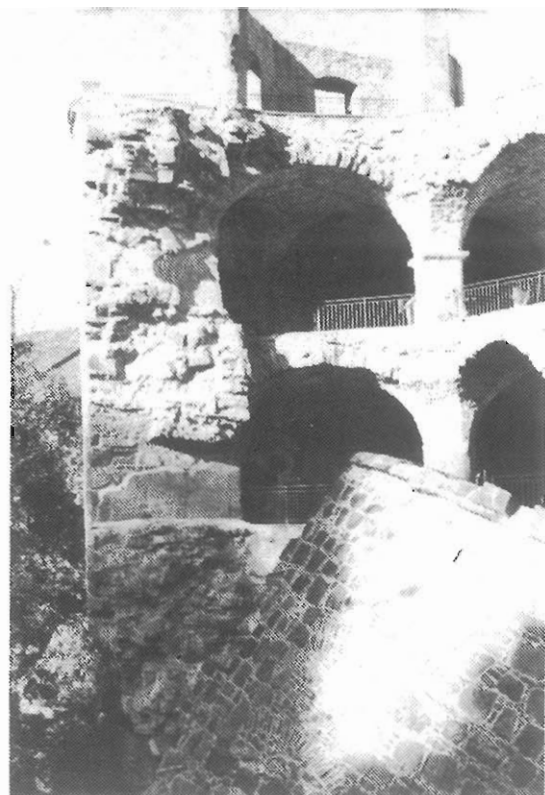


3.2 VEST-TYSKLAND

Dessverre viste det seg umulig å få til nok samarbeid mellom tyskere og franskmenn slik at vi ble nødt til å foreta en separat tur til Tyskland. Vi benyttet derfor første uke av november til denne turen.

Fredag 4 november. Forschungs- und Materialprüfungsanstalt, Stuttgart.

Underveis til Stuttgart hvor første stopp på studieturen var, overnattet vi i Heidelberg. Fredag 4/11 rakk vi en rask sightseeing til det berømte slottet på Schlossberg i Heidelberg. Det interessante her skulle det i ettertid vise seg var (foruten det arkitektonisk meget imponerende slottet) en stor utrasing av slottet. Vi fotograferte det og regnet vel med at dette hadde skjedd for hundre år siden. Senere viste det seg at denne utrasingen nettopp hadde skjedd, og i løpet av 1989 skulle repareres med en spesiell teknikk innen soil nailing hvor gamle murer blir rehabilitert.



Figur 14. Utrast mur i Heidelberg.

Samme dag fortsatte vi til Stuttgart hvor vi hadde en avtale med Dr. Günter Gässler på Forschung und Materialprüfungsanstalt, en selvfinansierende institusjon i tilknytning til universitetet i Stuttgart. Gässler leverte sin doktorgrad i emnet soil nailing i Tyskland i 1987. Han hadde inntil for to år siden arbeidet på universitetet i

Karlsruhe med soil nailing hovedsakelig. Vi hadde en svært interessant gjennomgang av temaet og fikk tilgang til en god del ny litteratur. I tillegg ble vi vist en soil nailing jobb i Stuttgart. Dette var en 200 meter lang vegskjæring i forbindelse med en midlertidig omlegging (3år) av veien og metoden var her blitt brukt for å redusere skråningsutslagene. Grunnforholdene her var temmelig annerledes enn i Norge med en bløt sandstein/semertert sand og med et par meter sandige materialer på toppen.



Figur 15. Skjæring i Stuttgart.

Skjæringen var ca 6-8 meter høy og det var brukt nagler med 7 meters lengde. Det var ca 1.5 meters avstand mellom naglerekkene. 15 cm sprøytbetong dekket skråningen. Platene rundt hver nagle var ikke dekket til i dette tilfellet pga den korte brukstiden. Det var også plassert rør for eventuelt vannuttrett med jevne mellomrom. Skjæringen var relativt pen å se på med flotte høstfarger på klatreblomstene på dette tidspunkt av året men forøvrig var inntrykket vårt at den estetiske siden av soil nailing konstruksjoner var et svært diskutert tema.

På kvelden var vi invitert sammen med Dr. Günter Gässler til Universitetet i Karlsruhe til doktormiddag. To geoteknikere på instituttet hadde nettopp avsluttet sine doktoravhandlinger. Her ble vi introdusert til Dr. Gudehus som er leder av instituttet og som sammen med Dr. Gässler var en av initiativtagerne til en rekke fullskala - forsøk og innføring av metoden i V. Tyskland.

Helgen 5-6 november.

Helgen ble tilbrakt i Karlsruhe området - tilfeldigvis dumpet vi over en soil nailing jobb på Ettingerstrasse ved Ettingen. Dette var en vegskjæring i sand/silt foran en løsmassetunnel. Det var jo selvfølgelig ingen til stede der en søndag - men vi fikk likevel en del interessante inntrykk.



Figur 16. Vegskjæring ved Ettingen.

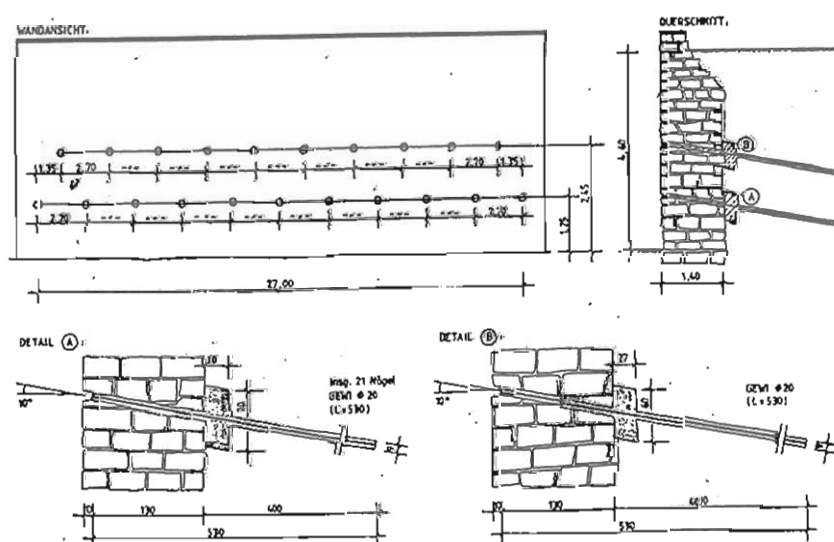
Jobben var utvilsomt den mest relevante av alle prosjektene vi så på i forhold til norsk vegbygging og det var derfor synd vi ikke fikk anledning til å følge opp jobben. Som bildene viser er det en relativt dyp skjæring hvor det foreløpig var montert en stagrekke med nagler i bunn av skjæringen og gravd ut ca. 2 m. Trolig var det meningen å grave seg dypere ned med flere naglerekker. Det ble brukt perforerte stålrør med tykkelse 40mm og ca 6 meters lengde. Disse ble montert ved hjelp av en vanlig Roc 601 fjellbormaskin. Årsaken til at metoden ble brukt her var åpenbart plassbegrensinger pga. hus på toppen av skjæringen. Vi antok at denne jobben var en midlertidig konstruksjon, muligens en cut and cover løsning.



Figur 17. Detaljer av naglingen.

Mandag 7 november. Besøk på Universitetet i Karlsruhe

Her ble vi tatt imot av Diplom ingeniør Erwin Schwing på Institut für Bodenmechanik. Han var i ferd med å avslutte sin doktorgrad på emnet "Soil nailing - en utbedringsmetode av gamle steinmurer". Jordnaglingen blir her brukt for å stabilisere bakfyllmassene. Naglene installeres i hull som er boret gjennom muren. Når jordtrykket tas opp av naglene har muren som regel nok egenstabilitet til å bli stående, og metoden kan dermed brukes til å sikre skrøpelige murer som ellers ville ha falt ned. Hullene til naglene kan etterpå mures igjen slik at reparasjonen ikke synes. Schwing tok oss også med på en befaring hvor vi fikk se en reparert tørrmur og en under utbedring.



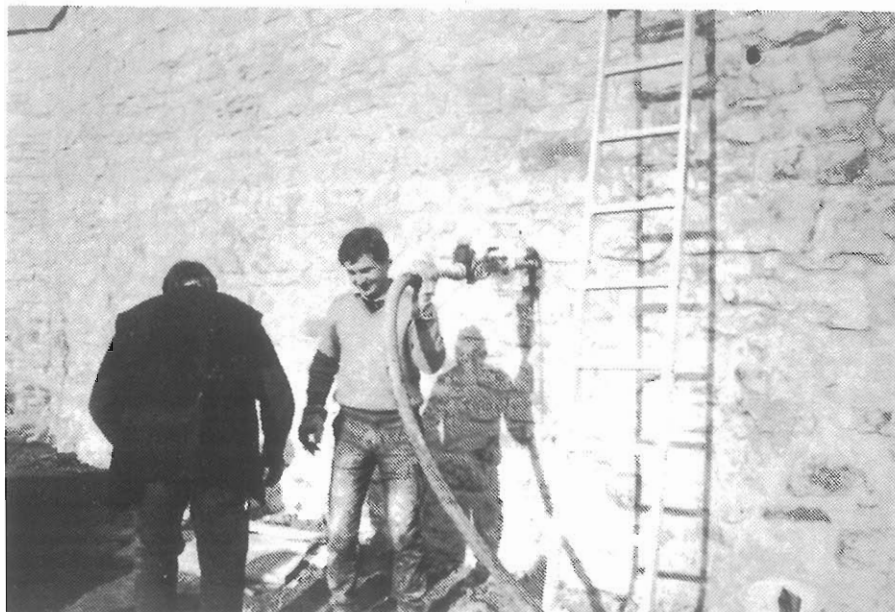
Figur 18. Stabilisering av steinmur. (Schwing og Gudehus 1988)

I Heilbronn, noen mil nord for Karlsruhe, hadde en gammel mur begynt å brikke over og var blitt reparert med soil nailing etter den tidligere beskrevne metoden. Muren var i størrelsesorden 8-10 meter høy. Det var bortimot umulig å se inngrepene som var gjort.



Figur 19. Reparasjon av steinmur ved Heilbronn.

Neste stopp var Castle Kislau mellom Karlsruhe og Heidelberg. Castle Kislau er et gammelt slott som idag fungerer som et fengsel. Slottet var i dårlig forfatning og det var bestemt at slottet og murene skulle restaureres. Totalt 1400 meter vegg med en høyde på ca 4 meter dvs. nesten 60000 m² vegg skulle restaureres. Det vi fikk se var en strekning på 50 meter med en høyde på 3,6 meter som ble utbedret med soil nailing. Kostnadene for prosjektet lå i størrelsesorden 6-800 DM/m².



Figur 20. Utbedring av steinmur på Castle Kislau.

Tirsdag 8 november. Besøk hos entrepenørfirmaet Bauer i Schrobenhausen.

Etter en lengre biltur ankom vi Schrobenhausen en småby rett nord for Munchen. Hele byen er bygd opp rundt det store entrepenørfirmaet Bauer. Her foregikk utvikling på maskiner for de fleste forhold innen entrepenørbransjen (bortsett fra transport). Spesielt innen området jetgrout har de utviklet en maskinpark og en teknologi som er meget imponerende. Soil nailing har vært og er også et av satsingsområdene til Bauer. De utførte en rekke fullskala-forsøk (9stk) rundt 1980 i samarbeid med universitetet i Karlsruhe. Vi ble orientert om disse forsøkene samt den videreutvikling som hadde foregått på dette området de senere år av direktør Dr. Stocker som også hadde sin bakgrunn fra universitetet i Karlsruhe. Videre fikk vi en gjennomgang av prosjekter som var gjennomført de siste årene og resultater fra en del instrumenterte konstruksjoner.



Figur 21. Fullskalaforsøk med soil nailing. (Bauer)

4. METODENS ANVENDBARHET I NORDEN

Bruken av armert jord er stadig økende. Jordnagling synes å ha en naturlig plass innenfor dette området. Metoden bør kunne anvendes ved uttak av skjæringer og byggegropser i morene, grus, sand og fast leire (tørrskorpe). I denne sammenheng vil metoden både være et alternativ til spuntvegger, bjelkestengsler (Berlinerwand) og liknende, og til tradisjonelle armert jord-konstruksjoner.

Videre synes metoden å ha et klart potensiale innenfor reparasjon av ustabile steinmurer. Jordnaglingen kan ta opp jordtrykket fra de bakenforliggende massene. Reparasjonen kan foretas uten at muren rives ned, og murens utseende behøver ikke å endres, dersom dette skulle ha betydning.

Dimensjoneringen av konstruksjonene kan ta utgangspunkt i tradisjonelle beregningsmetoder for stabilitet, med tilpasninger slik det er gjort de franske og tyske metodene som er nevnt foran.

Grunnvannstand og poretrykk vil være faktorer som både påvirker naglenes uttrekkskapasitet og påkjenningen på frontveggen. Drenering av en jordnaglet konstruksjon er en forutsetning der hvor det er fare for at det vil oppstå vanntrykk i det armerte jordvolumet. Dreneringen bør omfatte både sonen bakover langs naglene og området rett bak frontkledningen.

Frosteksponering vil klart måtte vies større oppmerksomhet her enn i Mellom-Europa. Frostisolasjon vil måtte vurderes i lys av massenes telefarlighet, og det vil være sterkt ønskelig med oppfølging med målinger for å kunne optimalisere konstruksjonene.

5. REFERANSER

Bruce, D. A. og Jewell, R.A. (1986/1987): "Soil nailing: Application and practice - part 1 / part 2." Ground Engineering.

Cartier, G. og Gigan, J. P. (1983): "Experiments and observations on soil nailing structures." 8th ECSMFE, Helsinki.

Cartier, G. og Morbois, A. (1986): "Expérimentation d'un clouage de remblai construit sur versant instable à Boussy-Saint-Antoine." Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées nr. 146, Paris.

Gässler, G. og Gudehus, G. (1981): "Soil nailing - some soil mechanical aspects of in-situ reinforced earth." 10th ICSMFE, Stockholm.

Gässler, G. (1987): "Vernagelte Geländesprünge - Tragverhalten und Standsicherheit." Dr.-avhandling, Universitetet i Karlsruhe.

Gässler, G. (1988): "Soil-nailing - Theoretical basis and practical design." Proceedings of the International geotechnical symposium on theory and practice of earth reinforcement. Fukuoka, Japan.

Guilloux, A., Notte, G. og Gonin, H. (1983): "Experiences on a retaining structure by nailing in moraine soils." 8th ECSMFE, Helsinki.

Juran, I. (1987): "Nailed-soil retaining structures: Design and practice." Transportation research record 1119, Transportation Research Board, USA.

Schlosser, F. Juran, I. og Jacobsen, H.M. (1983): "Soil reinforcement." General report. 8th ECSMFE, Helsinki.

Schwing, E. og Gudehus, G. (1988): "Soil nailing - Design and application to modern and ancient retaining walls." Proceedings of the International geotechnical symposium on theory and practice of earth reinforcement. Fukuoka, Japan.

TRB (1987): "Reinforcement of earth slopes and embankments." National cooperative highway research program report nr. 290. Transportation Research Board, USA:

Soil nailing - The Bauer system Schrobhausen