



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

R52:1981

Grundläggning av småhus på kalkpelare

**Bengt Broms
Håkan Bredenberg
Kjeld Paus
Jonas Wikström**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	81-0771
Plac	<i>ser</i>

*R
add*

Byggforskningsrådet

R52:1981

GRUNDLÄGGNING AV SMÅHUS PÅ KALKPELARE

**Försöksomfattning, försöksutrustning, resultat
och utvärdering**

**Bengt Broms
Håkan Bredenberg
Kjeld Paus
Jonas Wikström**

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771307-0 från Statens
råd för byggnadsforskning till Inst. för jord- och bergmekanik, KTH.**

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

R52:1981

ISBN 91-540-3485-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 152769

INNEHÅLL

	<u>Sid.</u>
FÖRORD	5
1 SAMMANFATTNING	6
2 INLEDNING	9
2.1 Bygga på lera	9
2.2 Reaktioner och effekter vid inblandning av osläckt kalk i lera	10
2.3 Kalkpelarmetoden	14
3 PRESENTATION AV DET AKTUELLA FÖRSÖKSOBJEKTET I GLÖMSTA, ESKILSTUNA	18
3.1 Allmänt	18
3.2 Geotekniska förutsättningar, grundförhållanden	20
3.3 Målsättning	22
4 DIMENSIONERING AV KALKPELARNA OCH GRUND- PLATTAN	23
4.1 Belastningar	23
4.2 Dimensionering av kalkpelarantal	25
4.3 Dimensionering av betongplattan	25
5 INSTALLERING AV KALKPELARE	27
5.1 Maskinutrustningen	27
5.2 Utsättning	28
5.3 Arbetsförlopp	28
6 MÄTAPPARATUR OCH PROVNINGSRESULTAT	29
6.1 Fältundersökning av kalkpelare	29
6.2 Provbelastningsanordningar	30
6.2.1 Husbelastning	30
6.2.2 Belastning på provytor	30
6.3 Sättningsmätning	30
6.4 Mätresultat	34

	<u>Sid.</u>	
7	UTVÄRDERING AV FÖRSÖKSRESULTAT	37
7.1	Oförstärkt provyta	37
7.2	Kalkpelarförstärkt provyta	37
7.2.1	Inklinometermätningar	38
7.3	Platta för hus 144	39
7.4	Jämförelse med andra grundläggningsalternativ	40
8	PRAKTISKA RÅD OCH SLUTSATSER FRÅN FÖRSÖKEN I GLÖMSTA	43
	REFERENSLISTA	45
	BILAGEFÖRTECKNING OCH BILAGOR	46

FÖRORD

Förstärkning av lermarker med kalk har i Sverige och utlandet utförts som ytstabilisering, dvs med inblandning av kalk på en framschaktad yta för att öka dennas bärighet och minska erforderliga överbyggnadstjocklekar. Denna teknik har rätt använd inneburet lägre anläggningskostnader för i första hand väg- och gatubyggnader samt förbättrad framkomlighet under byggnadstiden och därmed kostnadsbesparingar även i byggnadsskedet.

En metod att djupstabilisera lera, kalkpelarmetoden, uppfanns 1967 av civilingenjör Kjeld Paus, BPA Byggproduktion AB. Maskinutrustning, provningsutrustning och användningsområden har vidareutvecklats av Linden Alimak AB i samarbete med Statens Geotekniska Institut (SGI), institutionen för jord- och bergmekanik vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm (KTH), och BPA, avd. teknisk utveckling.

Med hjälp av medel från Statens råd för byggnadsforskning (BFR) har tidigare olika forskningsprojekt avseende kalkpelare genomförts vid KTH och SGI i samarbete med BPA och Linden Alimak. Projekten avsåg, förutom grundläggande hållfasthets- och deformationsstudier av kalkförstärkt lera, grundförstärkning för vägar och ledningschakter.

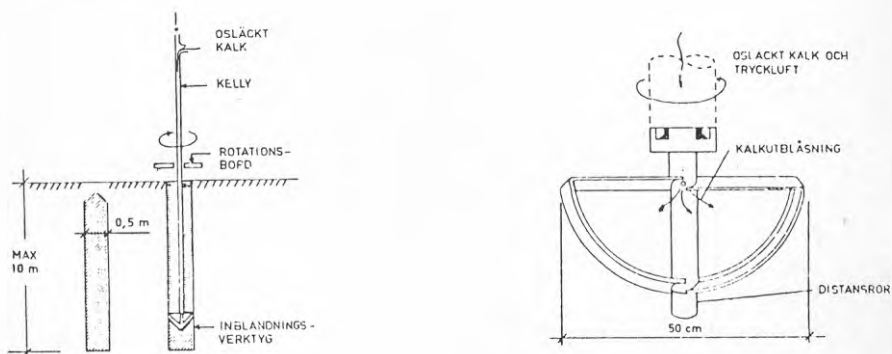
År 1977 beviljade BFR en ansökan avseende studium av grundläggning av småhus på kalkpelare i samband med exploatering av Glömstaområdet i Eskilstuna. Totalentreprenör var BPA och hela projektet omfattade förutom vägar, ledningar m m, 190 småhus där flertalet grundlades på stödpålar av betong.

I denna byggforskningsuppgift har KTH och BPA Byggproduktion AB samarbetat. Programmet och rapporten har utarbetats i en arbetsgrupp bestående av Bengt Broms och Håkan Bredenberg, KTH och Kjeld Paus, Jonas Wikström och Henrik Östman, BPA. H Bredenberg och J Wikström har haft ansvaret för fältarbetena och uppföljningen.

1 SAMMANFATTNING

Småhus grundläggs ofta inom områden med lös lera i Sverige. Kravet att åstadkomma en tillräckligt stabil grundläggningsmetod till så låg kostnad som möjligt är därför av stort intresse.

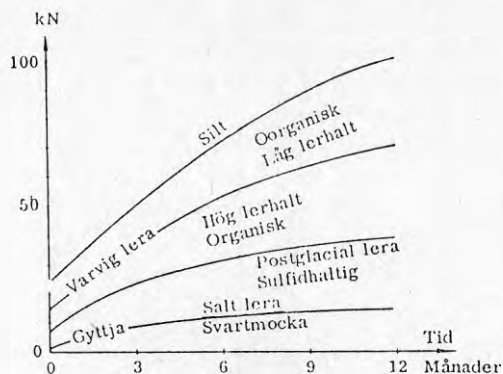
Kalkpelarmetoden, som uppfanns 1967 av Kjeld Paus, är en grundförstärkningsmetod avsedd för lös lera. Vid denna metod används kalkpelare som tillverkas med hjälp av en stång (Kelly) som i ena änden är försedd med ett blandningsverktyg. Den lösa leran blandas med osläckt kalk (CaO) som trycks ut genom ett hål i stångens nederdel med hjälp av tryckluft. Upp till ca 10 m långa pelare med diametern 0,5 m kan tillverkas.



Figur 1 Principiellt inblandningsförfarande och inblandningsverktyg

Kalkpelarens hållfasthet ökar successivt genom kemiska reaktioner mellan kalk och lera så skjuvhållfastheten efter ca 3 månader i allmänhet blir upp till 10 à 20 gånger så stor som den ursprungliga leras hållfasthet. Samtidigt minskar kalkpelarens kompression för en given påkänning ca 20 gånger jämfört med den oförstärkta leran. Vidare blir kalkpelarens vattengenomsläpplighet hög vilket medför att tiden för deformationer som uppkommer vid belastning minskar radikalt.

Kalkpelarmetoden har tidigare studerats vid olika forskningsprojekt och dessutom tillämpats praktiskt, se ref (2), (3), (5) – (9). Främst har olika typer av anläggnings-



Figur 2 Uppskattning av kalkpelares kryplast i olika lerjordar. Värden i figuren anger resultat från laboratorieblandade prov

konstruktioner, exempelvis markförstärkning vid broar och vägbankar, undersökts. Man har sedan länge diskuterat att även använda kalkpelarmetoden vid grundläggning av småhus men i brist på forskningsresultat, -resurser och referensobjekt har denna tillämpning dröjt.

Det BFR-projekt som beskrivs i denna rapport, där tillämpningen av kalkpelarmetoden vid grundläggning av småhus har studerats, har bl a omfattat

- geotekniska fält- och laboratorieundersökningar
- provbelastning, två grushögar \varnothing 7 m, höjd 2 m
- provbelastning, bottenplatta hus, 80 m²
- grundvattenobservationer
- sättnings- och inklinometermätningar
- utrednings- och utvärderingsarbete

I rapporten beskrivs olika arbetsmoment med tillhörande resultat och slutsatser. Bland de resultat som erhållits kan nämnas

- 1) Med ledning av laboratorieundersökningar bedömdes att kalkpelarna skulle få en hållfasthet i fält som efter 3 månader var 10 à 15 gånger den för ursprungliga leran. Denna bedömning befanns vara riktig. För pelare där tjäle uppkom erhöles dock en långsammare tillväxt.

- 2) Jämförelse mellan kalkpelarförstärkt och oförstärkt underlag för grusbela-
stningar visade
att kalkpelarna reducerade totalsättningarna med 70 à 80 procent
att kalkpelarna reducerade den tid som erfordrades för att uppnå slut-
sättningen till 1/6 – à 1/7-del av den tid som erfordras för en ej
stabiliserad yta
att kalkpelarna resulterade i avsevärt jämnare sättningar
- 3) Den provbelastade husplattans sättning blev ca 5 cm för den påförda las-
ten som var 20 kPa (2 ton/m²). Även här utbildades sättningarna snabbt.
Huset var placerat på en kantförstyvad armerad betongplatta. Lasten från
huset var i genomsnitt ca 10 kPa (1 Mp/m²).
- 4) Sättningskillnaderna för plattan blev maximalt ca 1 cm. Eftersom sätt-
ningarna har uppmätts i mätpunkter vid plattans överkant och sättnings-
skillnaderna uppstod redan under första veckan är det sannolikt att större
delen av sättningskillnaderna härrör från uppfyllningen under plattan.
- 5) Totalkostnaden inklusive kostnaden för betongplattan var vid grundlägg-
ning på kalkpelare mindre än vid grundläggning på pålar. Huvudorsaken
var att en tunnare platta kunde användas jämfört med den som erfordras
vid pålgrundläggningen.
- 6) De erhållna försöksresultaten bör kunna utnyttjas generellt där avståndet
till fast botten ej överstiger 8 à 10 m och kalkpelarnas längd motsvarar
lerlagrets tjocklek. I de fall lerans tjocklek är större än kalkpelarnas längd
kan de refererade positiva erfarenheterna av belastningsförsöken som på-
går sedan 1972 på SGIs provfält vid Skå utanför Stockholm, bilda under-
lag för utvärdering av metodens tillämpbarhet och för val av konstruktions-
lösning.

2 INLEDNING

Ytstabilisering av lös lera med kalk, för att öka bärigheten och minska överbyggnadstjockleken är en beprövad jordförstärkningsmetod både i Sverige och utomlands. En metod att djupstabilisera lera med kalk – kalkpelarmetoden – uppfanns 1967 av Kjeld Paus, BPA Byggproduktion AB. Metoden har sedan dess vidareutvecklats och följts upp, bl a med anslag från BFR.

Metoden lämpar sig för stabilisering av slänter, schaktgravar, vägbankar och lätta byggnader och har ofta väsentliga tekniska och ekonomiska fördelar jämfört med andra metoder. Föreliggande undersökning har gjorts i syftet att i detalj utvärdera kalkpelares lämplighet som förstärkning av lera under småhus.

2.1 Bygga på lera

Stora delar av de ur grundläggningssynpunkt gynnsamma områdena är redan bebyggda i Sverige, speciellt i närheten av många städer. Man tvingas alltmer vid exploatering av nya markområden att använda områden som ur grundläggningssynpunkt är besvärliga, exempelvis där det förekommer lös lera. Leror är i Sverige vanligast under den högsta kustlinjen (figur 3). Befolkning och bebyggelse är koncentrerad till samma delar av landet.

Många traditionella grundläggningsmetoder i lera är dyra och medför därtill vanligen andra olägenheter, exempelvis framtida sättningar. Kalkpelarmetoden kan emellertid bidra till bättre lösningar ur både ekonomisk och teknisk synpunkt.



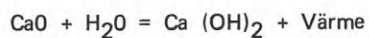
Figur 3 Högsta kustlinjen i Sverige

2.2 Reaktionen och effekter vid inblandning av osläckt kalk i lera

Det är i huvudsak fyra olika processer som äger rum då osläckt kalk blandas med lös lera. Dessa är

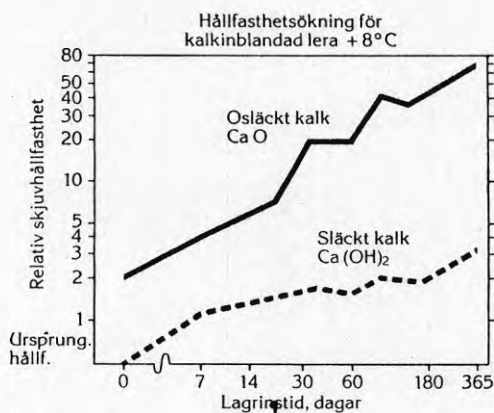
- släckning av kalken varvid lerans vattenkvot reduceras
- jonbyte
- pussolana reaktioner
- eventuell karbonatisering

När osläckt kalk blandas med vatten sker följande reaktion:



- 1) Det åtgår således vatten för att släcka kalken, dvs lerans vattenkvot minskar. Därvid ökar skjuvhållfastheten. Denna reaktion sker i stort sett momentant.

- 2) Jonbyte sker mellan de tvåvärda kalciumjonerna i kalken och de envärda natrium- och kalciumjonerna i leran varvid lerans flyt- och plasticitetsgränser ökar. Lerpartiklarna binds därvid ihop till större vattenfasta aggregat. Jonbytet är vanligtvis avslutat efter några timmar. Hög temperatur och högt pH-värde påskyndar förloppet.
- 3) De puzzolana reaktionerna fortsätter upp till ca 5 år efter inblandningen och innebär att kalken reagerar med lerans sk puzzolana beståndsdelar, främst aluminater och silikater och bildar en gel som binder ihop lerpartiklarna. Även dessa reaktioner ger vattenfasta beståndsdelar, varför risken för urläkning av kalken och därmed försämring av hållfastheten är liten. Liknande reaktioner sker i betong.
- 4) Karbonatisering sker om den kalkblandade leran kommer i kontakt med luft innan de puzzolana reaktionerna är avslutade. Koldioxiden i luften reagerar med kalken varvid kalciumkarbonat bildas. Eftersom kalciumkarbonatet är mycket svårösligt i vatten, blir kalkjonkoncentrationen låg, varvid gelbildningen reduceras eller helt upphör med låg hållfasthet som följd. Vid djupstabilisering torde emellertid denna risk vara liten eftersom reaktionerna sker djupt nere i jorden. Den luft som används för att mata ut kalken i leran torde ej ha någon betydelse i sammanhanget.



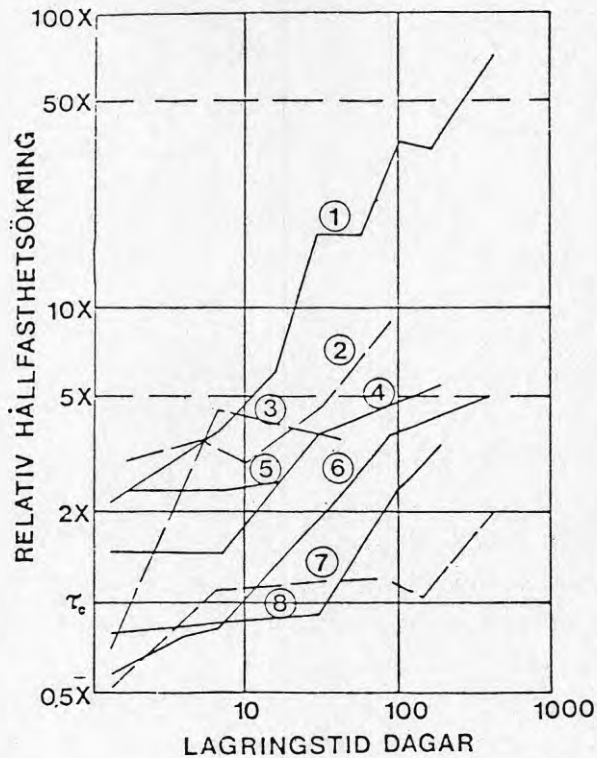
Figur 4 Diagram över hållfasthetstillväxt för lera blandad med osläckt respektive släckt kalk

Teoretiskt erfordras inte mer än 2 viktprocent kalk med avseende på jordens torra vikt för att jonbytet och de puzzolana reaktionerna ska bli fullständiga. Laboratorieförsök visar dock att bästa stabiliseringseffekten erhålls vid drygt 3 viktprocent kalk. Vid högre kalkhalter avtar effekten något för att bli ungefär lika stor vid 10 à 12% som vid drygt 2% kalk. Vissa faktorer som t ex karbonatisering, organiska och vissa kemiska beståndsdelar i jorden samt ofullständig inblandning, gör att man i praktiken måste öka kalkhalten till ca 6–10%, ref (1), (10).

Resultaten av kalkinblandningen är främst att skjuvhållfastheten ökar och att kompressibiliteten minskar. Vidare ökar permeabiliteten kraftigt. Skjuvhållfasthetsökningen för några kalkinblandade prover visas i figur 5. Efter inblandningen förvarades proverna i provburkar till standardkolvborr i +7°C vilket är den normala temperaturen i jorden på 2 till 10 m djup. Skjuvhållfastheten har bestämts vid enaxliga tryckförsök. En viss spridning uppträder alltid, företrädesvis beroende på ojämn gelbildning.

Av figur 5 framgår att hållfasthetsökningen varierar för olika typer av leror. Störst är tillväxten i lerig silt och siltig lera. Ökad organisk halt minskar hållfasthetstillväxten.

Nr	Plats	Lertyp	Skrym- densitet t/m ³	Vatten- kvot %	Odränerad skjuvhåll- fasthet kPa	Konflyt- gräns %
1	Linköping	Varvig	1,6	75	20	75
2	Järva	Varvig	1,5	70	12	70
3	Möln dal	Siltig gyttja	1,4	115	10	90
4	Kungens kurva	Varvig	1,6	82	10	—
5	Danderyd	Brungrå	1,7	50	10	40
6	Skå-Edeby	Grå post- glacial	1,4	128	13	120
7	Sundsvall	Svart- mocka	1,6	75	20	60
8	Bäcke bol	Grå	1,5	85	15	80

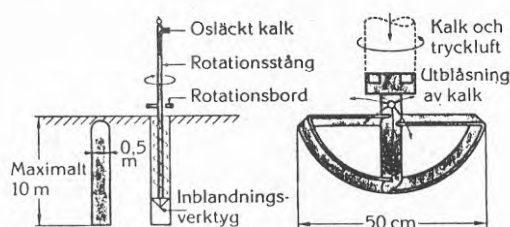


Figur 5 Hållfasthetsutveckling för prover som blandats med 6 viktprocent kalk och därefter förvarats i klimatkammare (+7°C). Skjuvhållfastheten är bestämd med en-axiellt tryckprov

2.3 Kalkpelarmetoden

Metoden innebär att man direkt i jorden blandar osläckt kalk (CaO) med lera. Därvid används ett vispliknande verktyg med snedställda blad (figur 6). Verktyget skruvas ned i jorden. Matningshastigheten motsvarar bladens stigning.

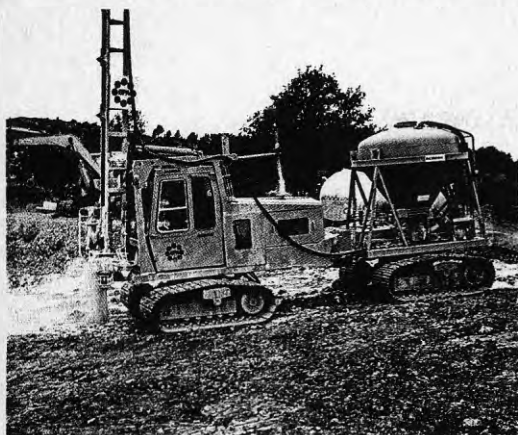
Vid önskat djup (f n maximalt 10 m) ändras rotationsriktningen samtidigt som verktyget dras upp med stigningen ca 2,5 cm per varv. Under uppdragningen blåses osläckt kalk ut genom ett hål i verktygets överkant. Genom att verktygets rotation är större än vad som motsvaras av stigningen på bladen, blandas kalken med leran samtidigt som den kalkblandade jorden packas.



Figur 6 Tillverkning av kalkpelare
T v principfigur, t h inblandningsverktyget

Mängden kalk som blandas med den lösa leran regleras med en doseringsapparat och registreras på en skrivare inne i kalkpelarmaskinen. Normalt tillsätts 6–10% finmalen, osläckt kalk med avseende på mängden torrsubstans i leran. För en pelare med 50 cm diameter tillsätts ca 12 – 20 kg kalk per meter pelare.

Kalkpelarmaskinen är tvådelad och midjestyrd. Den främre delen omfattar styrhytt, drivenhet och en 10 m hög fällbar mast. Maskinens bakre del består av en behållare för $2,5 \text{ m}^3$ kalk samt den pneumatiska utrustningen för att mata fram kalken till inblandningsverktyget.



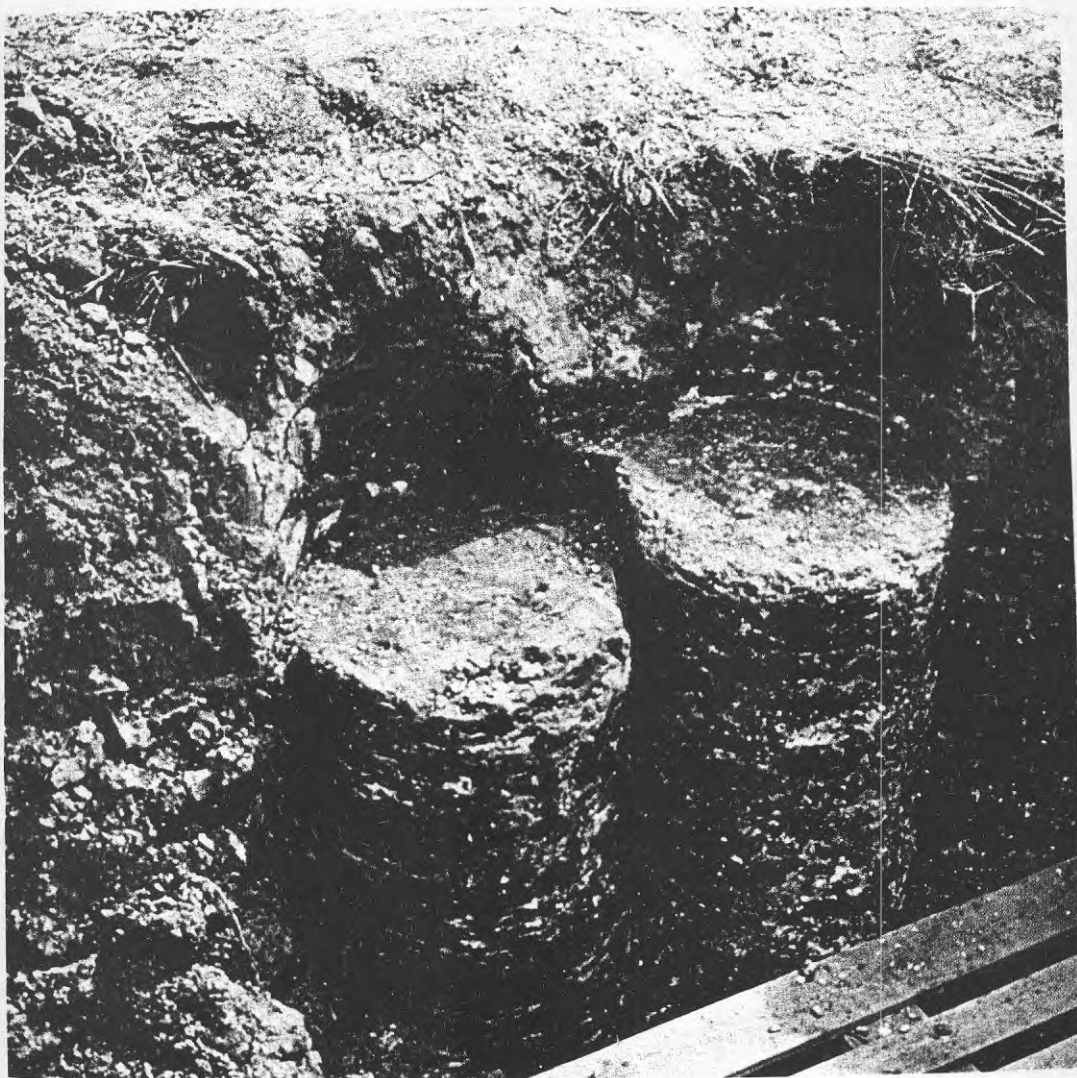
Figur 7 BPA:s kalkpelarmaskin LPS-4 under tillverkning av kalkpelare i Tuve, Göteborg



Figur 8 Kalkpelarmaskin under arbete



Figur 9 Rörläggning i kalkpelarförstärkt rörgrav

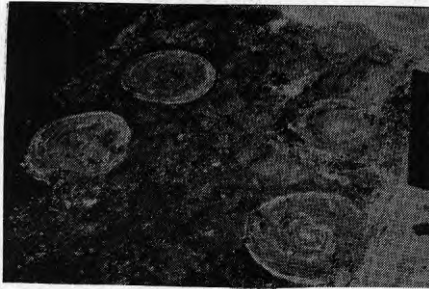


Figur 10 Frilagda kalkpelare

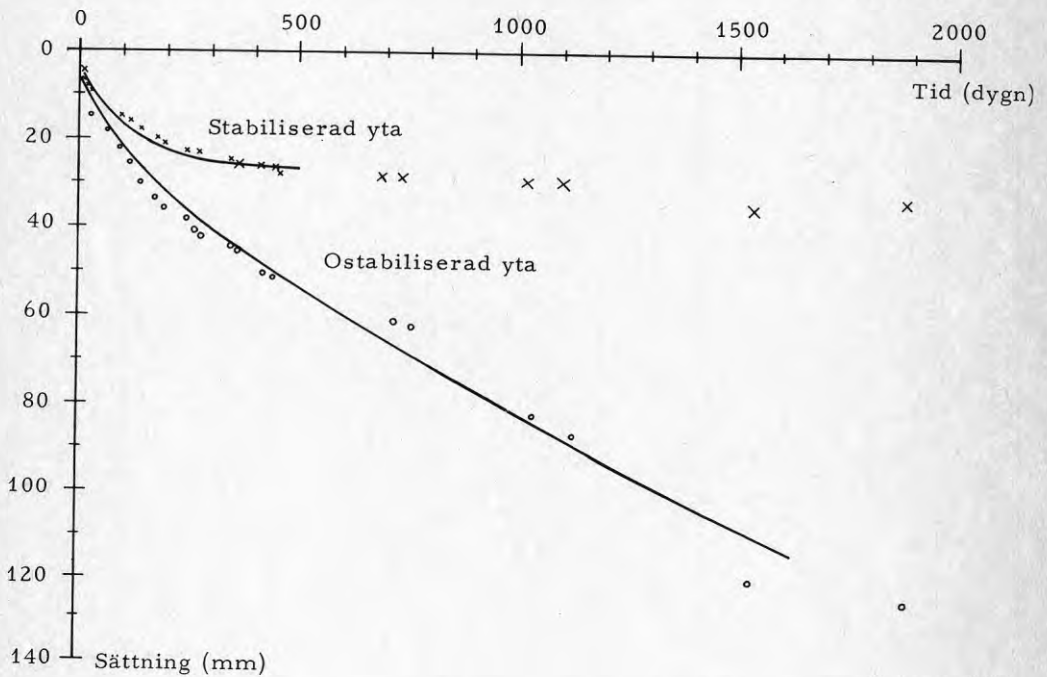
Kalkpelares förmåga att reducera och utjämna totalsättningen och minska sättningstiden har tillämpats och verifierats vid ett flertal objekt. Blant dessa kan nämnas:

- Belastnings- och rörgravsförsök vid SGI:s försöksfält i Skå-Edeby
- Vägbanksförstärkning i Smista, Huddinge
- Förstärkning av vändplan och rörgrav i kv. Myren, Huddinge

Belastningsförsöken i Skå-Edeby, där lasten är av samma storleksordning som vid ett småhus, visade att kalkpelare avsevärt reducerar totalsättningarna och skillnaderna i sättningarna, se figur 12.



Figur 11 Kalkpelarförstärkning kv. Myren



Figur 12 Belastningsförsök vid Skå-Edeby, 0,5 m grusfyllning på markytan

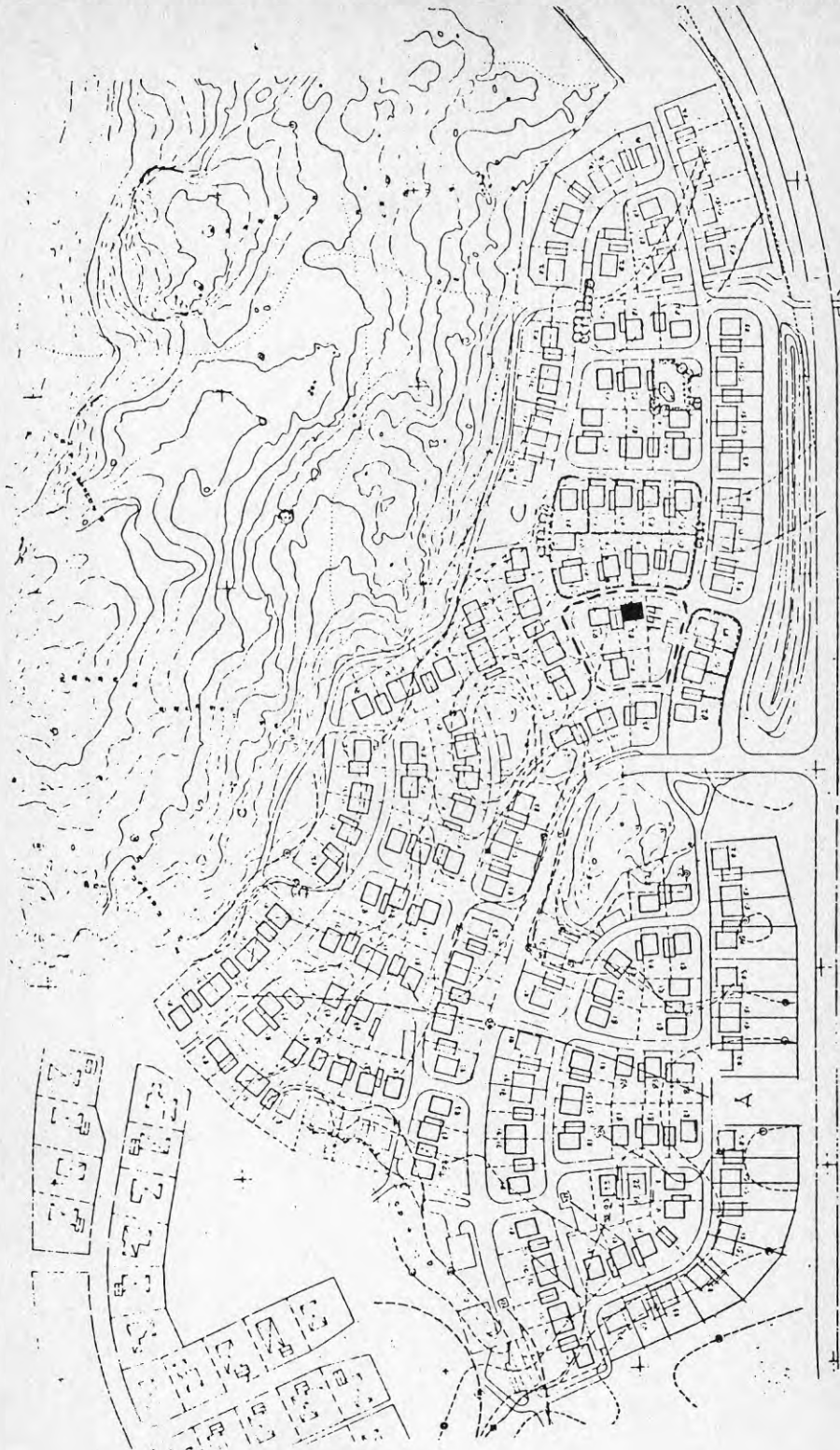
3 PRESENTATION AV DET AKTUELLA FÖRSÖKSOBJEKTET I GLÖMSTA, ESKILSTUNA

3.1 Allmänt

Undersökningen omfattade ett småhus som ligger i Glömsta-området inom en del av Mälardalen, där det är mycket vanligt att man har problem vid grundläggning av nya byggnader och sättningar av äldre byggnader inom redan exploaterade områden.

Ett exempel är ett småhus i närheten av försöksplatsen där man pålat för själva huset men ej för det vidhängande garaget. Man måste riva garaget på grund av att det hade satt sig kraftigt i ytterkanten men inte invid huset vilket ledde till oaccep-
tabel snedställning och sprickbildning.

Totalt omfattade Glömsta-projektet 190 småhus. Försökshuset låg mitt i området (figur 13). Alla hus inom området utgjordes av elementhus av typ Ådals-hus. Väggarna i dessa består av spånplattor med mellanliggande isolering, vilket gör huskonstruktionen mycket styv. Med undantag av försöksobjektet är alla hus pålgrundlagda på 6 stödpålar av betong och djupet till fast botten varierar mellan 3 och ca 10 m. Grundplattorna vid de pålade husen är 25 cm tjocka och försedda med en 50 cm hög kantbalk. Varje platta av denna typ innehåller ca 2,8 ton armering.

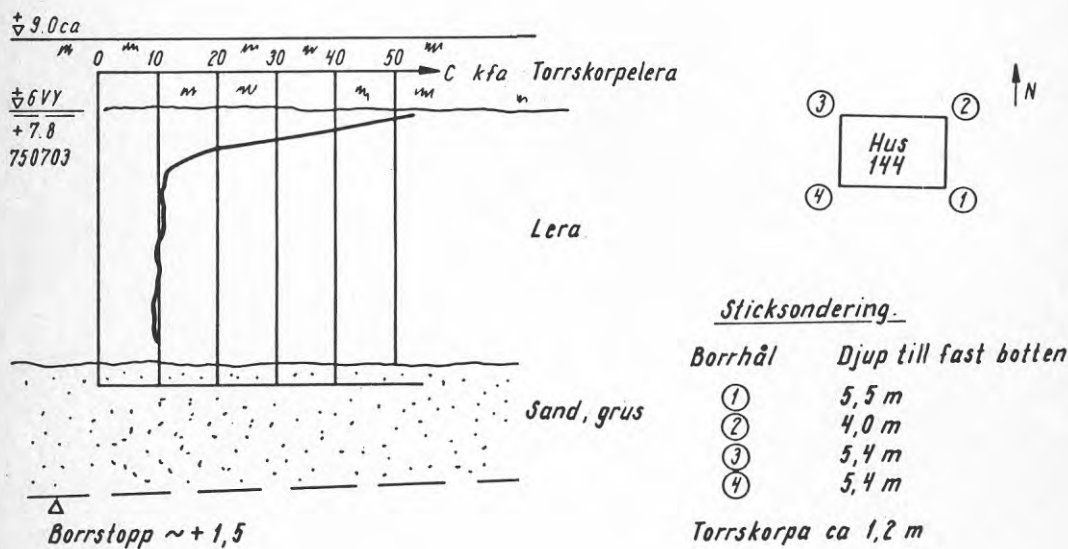


Figur 13 Situationsplan

Anm. Med svart har den byggnad (hus 144) markerats som försågs med kalkpelarförstärkt undergrund

3.2 Geotekniska förutsättningar, grundförhållanden

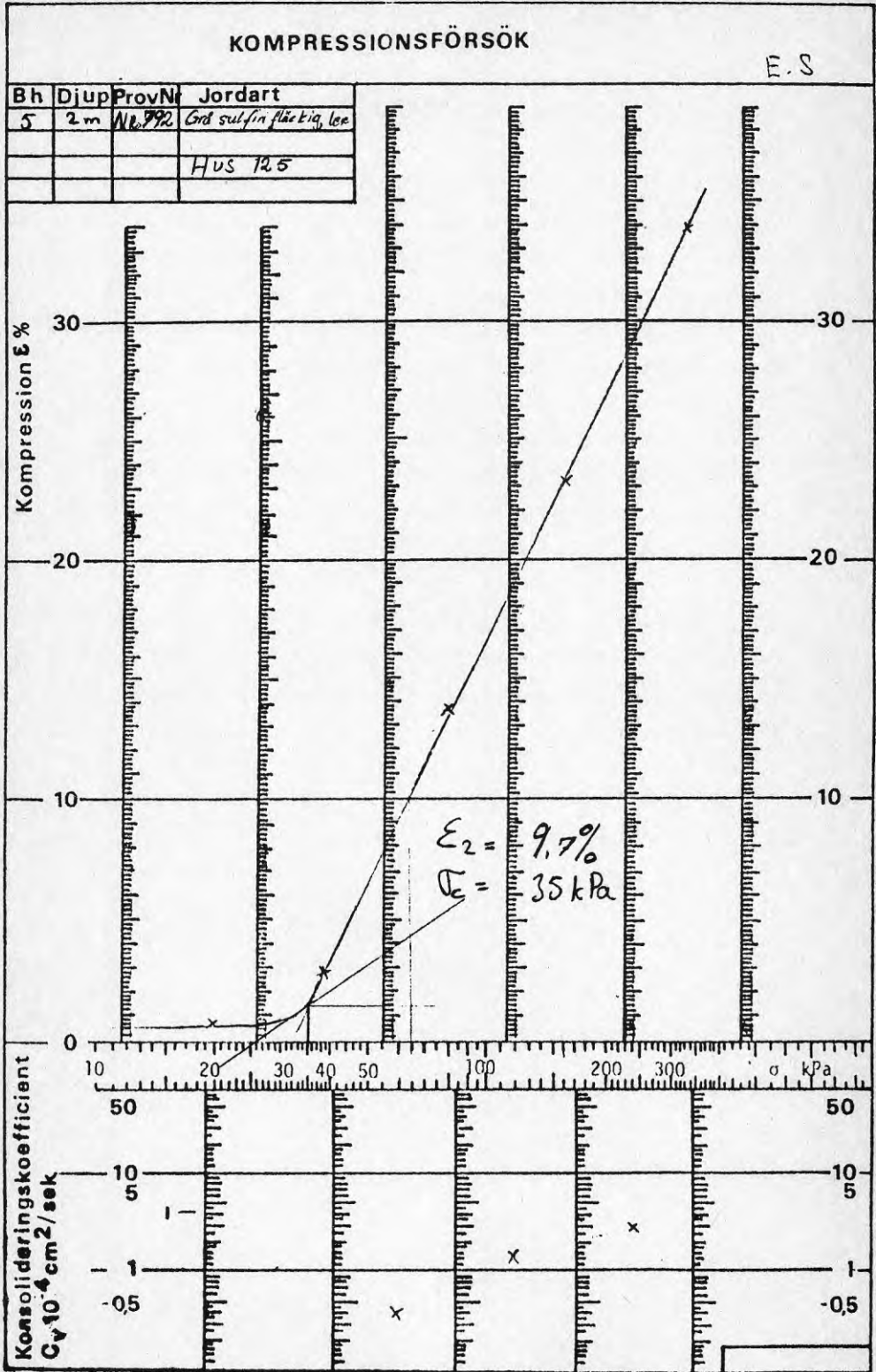
På försöksplatsen består jorden av ca 5 m lera, varav ca 1,30 m torrskorpa som överlagrar fast lagrat friktionsmaterial på berg. Lerans skjuvhållfasthet under torrskorpan är ca 10 kPa, se figur 14. Grundvattennivån ligger i torrskorpans underkant. Lerans skrymdensitet är ca 1,6 ton/m³, vattenkvoten 65%, finlekstalet drygt 60% och sensitiviteten ca 18.



Figur 14 Grundförhållanden vid provytor

Som framgår av ödometerförsök, sid 21, är leran i stort sett normalkonsoliderad.

Fig 15 ÖDOMETERFÖRSÖK



3.3 Målsättning

De 5-åriga belastningsförsöken i Skå-Edeby med två provtytor med en 0,6 m tjock överlast av grus motsvarande ca 10 kPa påvisade möjligheten av att använda kalkpelare som grundförstärkning under hus. Glömstaprojektet passade tidsmässigt och valdes som försöksplats. Ett för försöket lämpligt hus utsågs i samråd med byggnadsnämnden i Eskilstuna och en tunnare betongplatta med mindre armering föreslogs. För att få relationsvärden mellan Skå Edeby-försöket och försöket i Glömsta valdes dessutom två provtytor ut i närheten av husgrunden. Den ena provtytan försågs med grundförstärkning bestående av 48 st kalkpelare. Cirkulära grushögar med höjden 2,25 m utgjorde överlast motsvarande ca 40 kPa.

Dessutom sattes 6 st testpelare. Dessa kalkpelare skulle användas för olika försök, exempelvis bestämning av hållfasthets- och deformationsegenskaper i kompressionsapparat samt fickpenetrometer, fallkon och fickvingborr för jämförelse med tidigare gjorda mätningar.

I utvärderingen av försöket skulle även en jämförande kalkyl mellan normalfallet inom området dvs grundläggning med betongpålar och alternativet med kalkpelare medtagas. Eftersom betongplattan blir helt olika för de två alternativen måste även kostnaden för betongplattan medräknas.

4 DIMENSIONERING AV KALKPELARNA OCH GRUNDPLATTAN

4.1 Belastningar

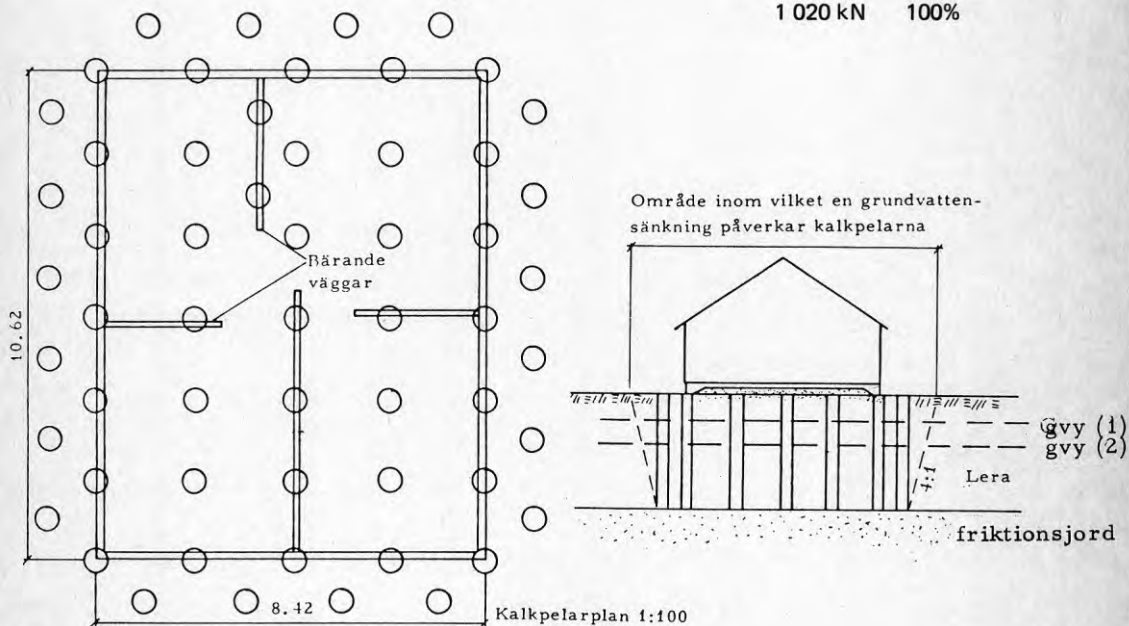
Belastningen på kalkpelarna utgörs av grundplattan, huskonstruktionens egenvikt och inre rörlig last samt snölast. Var dessa laster förs ned visas i figur 16 a.

Dessutom belastas pelarna av dränerings- och fyllnadsgrus under plattan. Matjordlagret schaktades bort under själva plattan och ersattes med sand.

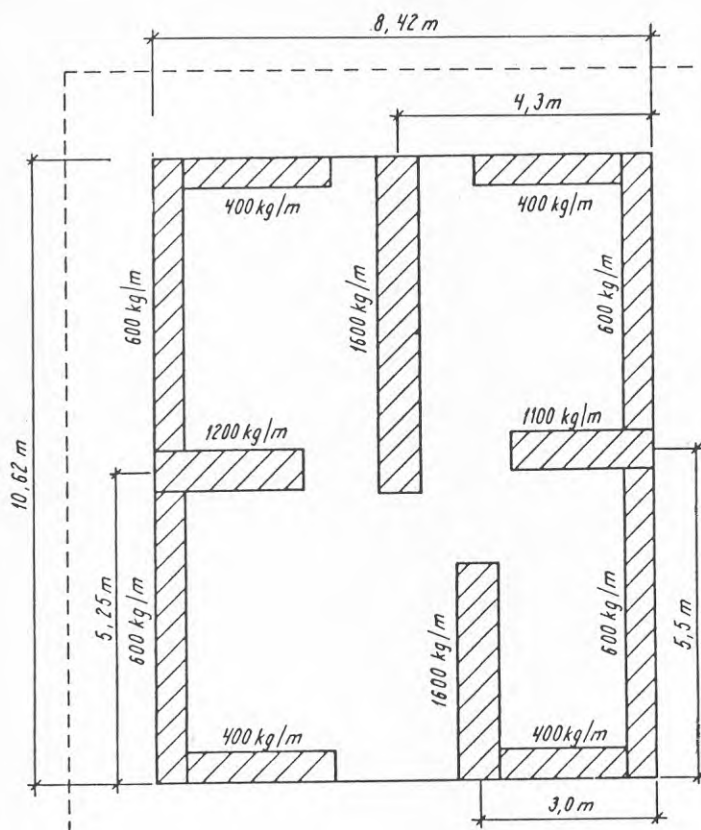
Även den belastning som orsakas av en antagen framtida grundvattensänkning tillkommer. Denna uppskattas till 1,0 m och motsvarar en belastning på markytan av 10 kPa.

Den totala lastökningen på leran uppskattas till:

• Husvikt inklusive invändig last och snölast	380 kN	38%
• Plattans vikt inklusive armering	430 kN	42%
• Dräneringsgrus och grusfyllnad	310 kN	30%
• Avtagning av matjord	- 100 kN	- 10%
	<u>1 020 kN</u>	<u>100%</u>



Figur 16 a Kalkpelare



Figur 16 b Belastningsplan 1:100

Därtill kommer en last på ca 10 kPa försakad av grundvattensänkning såsom nämnts ovan. Det område där en grundvattensänkning påverkar kalkpelarna visas i figur 16 a i vilken också redovisas den valda kalkpelarplaceringen. Protokoll från kalkpelarmonteringen redovisas i bilaga 1.

4.2 Dimensionering av kalkpelarantal

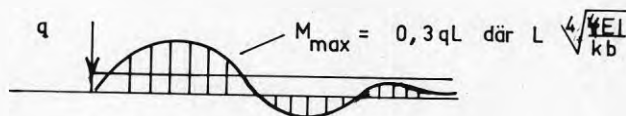
Antalet kalkpelare valdes så att den beräkningsmässiga maximala sättningen skulle bli högst ca 5 cm. Kalkpelarplaceringen är anpassad till plattans lastfördelning enligt figur 16 a och 16 b. En jämnt fördelad sättning av denna storlek brukar kunna accepteras. Belastningen från huset och en eventuell grundvattensänkning bärs av kalkpelarna och av jorden runt pelarna. En närmare beskrivning av beräkningsmetodiken redovisas i ref (4). De aktuella beräkningarna för dimensionering och sättningkontroll visas i bilaga 5.

Kalkpelarna och betongplattan utjämnar de sättningsskillnader som annars alltid uppkommer vid grundläggning direkt på oförstärkt lös lera. I det aktuella fallet blev sättningarna i stort sett konstanta över hela plattan vilket tyder på att en dimensionering som är grundad på en viss begränsad beräknad totalsättning är helt tillfredsställande.

4.3 Dimensionering av betongplattan

Betongplattan dimensionerades i princip som en platta grundlagd på mark. Jordens styvhet beräknades som summan av lerans och kalkpelarnas styvheter.

I den valda beräkningsmodellen erhöles ett dimensionerande negativt böjmoment i ett snitt som var beläget ett stycke innanför plattans kant när kanten belastades av en bärande vägg. En belastning från en vägg på ett visst avstånd från plattans kant resulterade i ett dimensionerande positivt moment, se figur 17.



Figur 17 Böjmoment i betongplatta. Ett positivt böjmoment ger dragning i plattans underkant

Tillåtna spänningar i betong och armering valdes enligt gällande statliga betongbestämmelser. Betongtvärsnittet och armeringsmängderna blev mycket mindre än de som erfordras för en fribärande platta för ett stödpålat hus. Förklaringen är givetvis att kalkpelarna ger en gynnsam fördelning av reaktionen från underlaget, medan vid stödpålning plattan är punktvis upplagd på pålarna.

Konstruktionsberäkningar och arbetsritningar har granskats och godkänts av byggnadsnämnden i Eskilstuna kommun som också fortlöpande har informerats om resultaten från arbetena och mätningarna. Detaljutformning, konstruktionsutformning och anvisningar för utförandet skedde i nära samarbete med BPAs produktionspersonal.

5 INSTALLERING AV KALKPELARE

5.1 Maskinutrustningen

Den i Glömsta använda kalkpelarmaskinen (LPS 3) som tillhör tredje generationens kalkpelarmaskiner hade tillverkats av Linden-Alimak AB. Det finns nu en fjärde generation, LPS 4, figur 18. Dess största fördel gentemot LPS 3 är att bandbredden är väsentligt större varigenom marktrycket har minskat till 24 kPa vilket har förbättrat framkomligheten på mark med låg bärförmåga.

Kapaciteten för LPS 3 är ca 300 m pelare/skift. Med den nya maskinen LPS 4 har man uppnått en kapacitet på ca 500 m/skift.

Maskinen är utrustad med en skrivare som kontinuerligt registrerar den kalkmängd som blandas med leran. Besättningen består normalt av två man, en förare och en hjälpare. I vissa fall har tillverkningen skett med endast en man med något lägre kapacitet som följd.



Figur 18 Kalkpelarmaskin LPS 4.
Utvecklad av Linden-Alimak AB

5.2 Utsättning

Hushörnen sattes ut på vanligt sätt med teodolit. Med dessa som utgångspunkt mäts sedan resterande pelare in med hjälp av måttband och snören. Pelarnas läge markerades med klippspik som sprejades med gul färg. Utsättningen för provytan skedde på motsvarande sätt. Förutom pelarna för huset och provytan sattes också 6 extra pelare som sedan undersöktes. Noggrannheten vid utsättningen var ± 2 cm.

5.3 Arbetsförlopp

Sammanlagt sattes 111 pelare under perioden 19 – 22 juni 1978. Pelarna i husgrunden sattes först. Maskinen gick diagonalt över området eftersom avståndet mellan pelarna var störst i denna ledd. Vald kalkmängd var 16 kg osläckt kalk per meter pelare. Genomsnittet i de tillverkade pelarna blev 15,7 kg/m. Kalkhalten varierade mellan 13,5 och 19,2 kg/m vilket är normalt.

6 MÄTAPPARATUR OCH PROVNINGSRESULTAT

6.1 Fältundersökning av kalkpelare

Ett antal kalkpelare sattes i oktober/november 1977. Med ledning av tidigare utförda laboratorieförsök med kalkinblandning beräknades skjuvhållfastheten för kalkpelare i fält till ca 100 à 150 kPa efter 3 månader.

En undersökning vid årsskiftet 77/78 med hjälp av fickvingborr, fickpenetrometer och konprov på toppen av pelarna samt viktsondering visade dock att hållfastheten hade ökat avsevärt långsammare än beräknat. En bidragande orsak torde vara det mycket kalla vädret i kombination med frånvaro av snötäcke där kalkpelarna hade tillverkats. Den kemiska processen försenas vid kyla och behöver vatten för att komma igång. Det beslöts därför att nya pelare skulle installeras i början av sommaren 1978.

Dessa pelare utfördes i juni 1978. Vid fältprovning 3 månader senare erhöles resultat som i sammanfattning redovisas i tabell 1.

			Skjuvhållfasthet i omgivande lera kPa	Skjuvhållfasthet i pelare kPa
Testpelare	25	Tillverkad juni 1978	13	101
Pelare	48	"—	19	169
Pelare	10	"—	47	133
Pelare vid hus 125		oktober 1977	12	125–170

Tabell 1 Fältundersökningar av kalkpelare

Försöken utfördes med hjälp av fickvingborr och fickpenetrometer i 3 punkter ca 10 cm från pelarnas periferi. Pelarnas överyta planades av med skyffel före försöken. Viktsondering i pelarna var ej möjlig att utföra. Alla pelarnas överytor var torra och hårda utom vid pelare 10 där fritt vatten förekom. Närvaron av vatten

kan förklaras av en närbelägen schakt för servisedningar. Man kan också notera att hållfastheten för den pelare vid hus 125 som satts 8 månader tidigare fortsatte att öka efter en inledande period under vintermånaderna av långsam hållfasthetsutveckling. Eftersom hållfastheterna uppgick till de värden som förutsatts beslöts att som planerat grundlägga hus 144 på kalkpelare.

6.2 Probelastningsanordningar

6.2.1 Husbelastning

Belastningen av plattan till hus 144 utgjordes av sarger av trä som byggdes upp där de bärande väggarna skulle komma att placeras. Mellanrummet mellan sargerna fylldes med sand så att belastningen motsvarade den från det blivande huset.

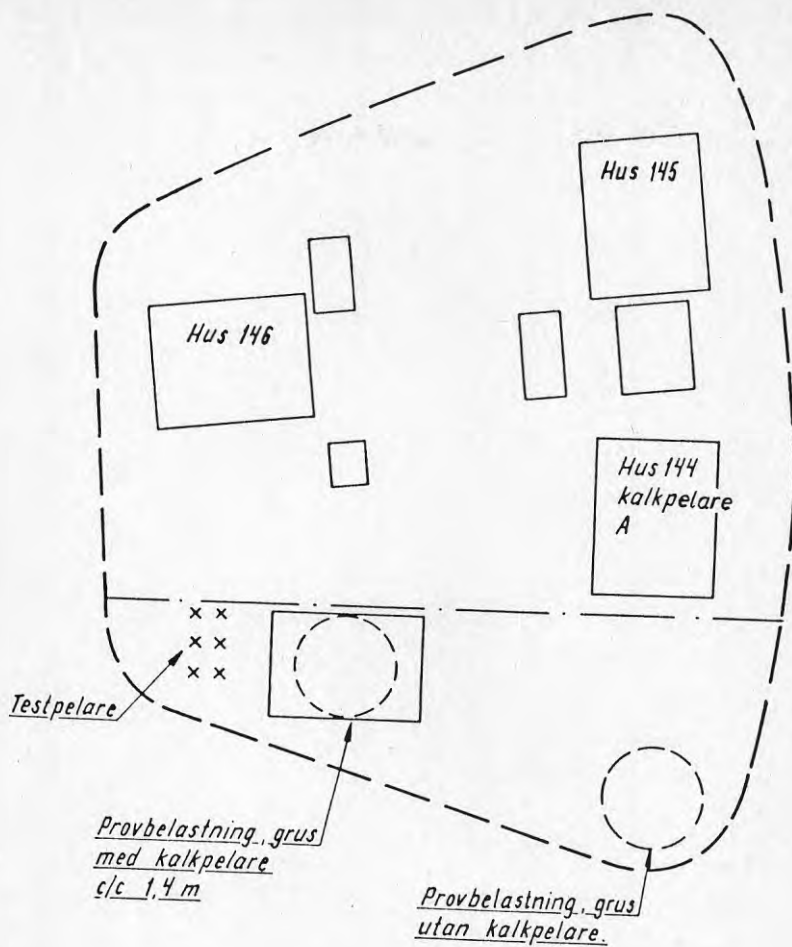
Dessutom lades ut ett drygt 60 cm tjockt lager med grus över hela plattan och runt de båda provytorna. Både plattan och provytorna belastades så snabbt som möjligt för att sättningarna under detta skede skulle bli små. Förutom sättningarna registrerades regelbundet även sprick- och grundvattennivåer.

6.2.2 Belastning på provytor

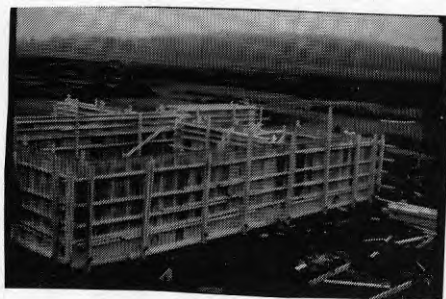
De två provytorna intill hus 144 med 7 m basdiameter belastades med 2 à 2,5 m höga grushögar. Under den ena högen hade kalkpelare installerats medan den andra provytan var oförstärkt. Ett dike hade schaktats genom torrskorpan runt högarna för att minska inverkan av torrskorpan på lastfördelningen i jorden.

6.3 Sättningsmätning

Betongplattans sättning i hus 144 mättes i 6 punkter (ingjutna dubbar) och i 2 punkter på överkant platta. Dessutom mättes sättningarna i den underliggande leran i två punkter (x och y) på två olika nivåer med hjälp av sättningsmätare som bestod av sättningsgivare som hade monterats på ett referensrör.

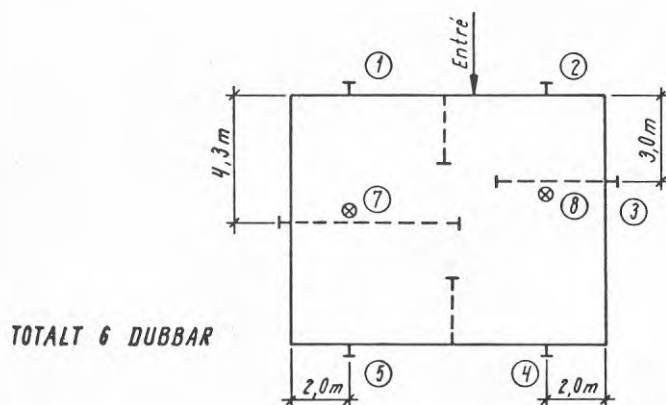


Figur 19 Översiktsplan över provområde

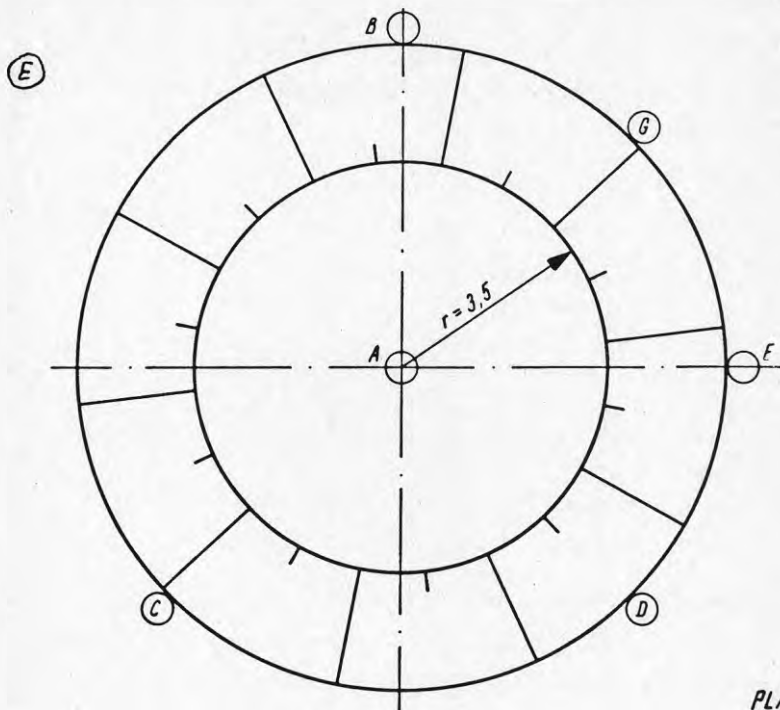


Figur 20 Belastningsanordning för hus 144

Vid de cirkulära provlastningsytorna mättes sättningarna för varje yta i fyra punkter. Vid varje punkt mättes sättningen förutom vid markytan även på 1,0, 2,0 och 4,0 m djup. Vid varje provyta monterades dessutom två inklinometerrör så att sidoförskjutningarna i jorden kunde mätas.

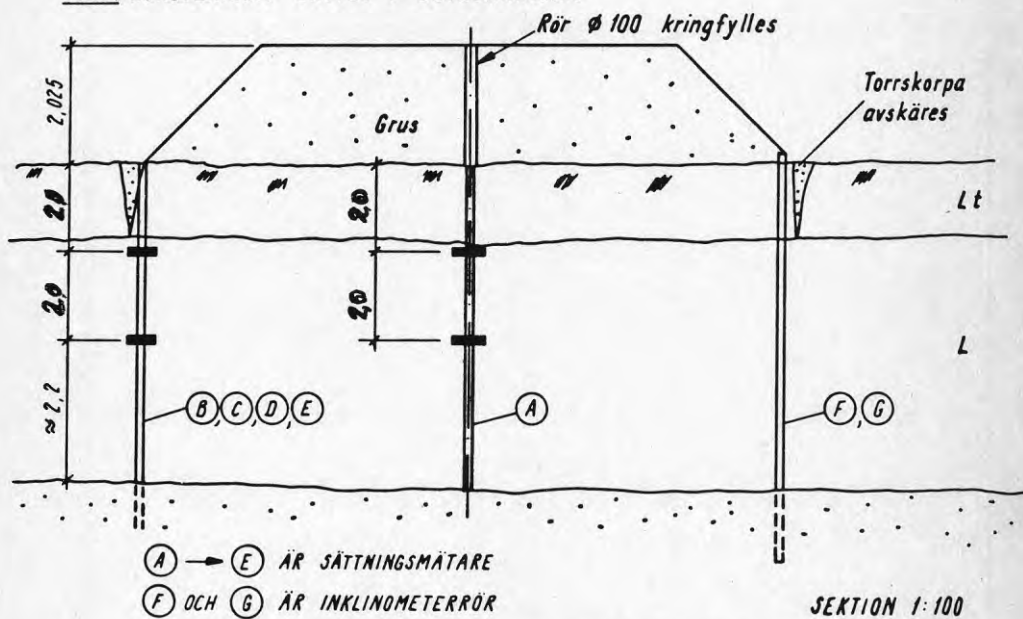


Figur 21 Avvägningsdubbar i betongplatta, hus 144 samt mätpunkter på plattan



PLAN 1:100

ANM. RÖRÖVERKANT SÄTTES I BETECKNINGAR



SEKTION 1:100

Figur 22 Grus-belastning på provtytor vid sidan av hus 144

6.4 Mätresultat

En sammanställning av de uppmätta sättningarna efter 22 veckors belastning för husplattan och de cirkulära provytorna visas på figur 23 respektive 24. De maximala sättningarna för de olika provstationerna visas i tabell 2. I bilaga 2 redovisas samtliga uppmätta sättningar.

	Sättning	Belastning (kPa)
Ej stabiliserad yta (mätpunkt 2,0 m under markytan):	8 cm	36
Stabiliserad yta (mätpunkt 2,0 m under markytan):	4 cm	36
Överkantplatta hus 144:	5 cm	20

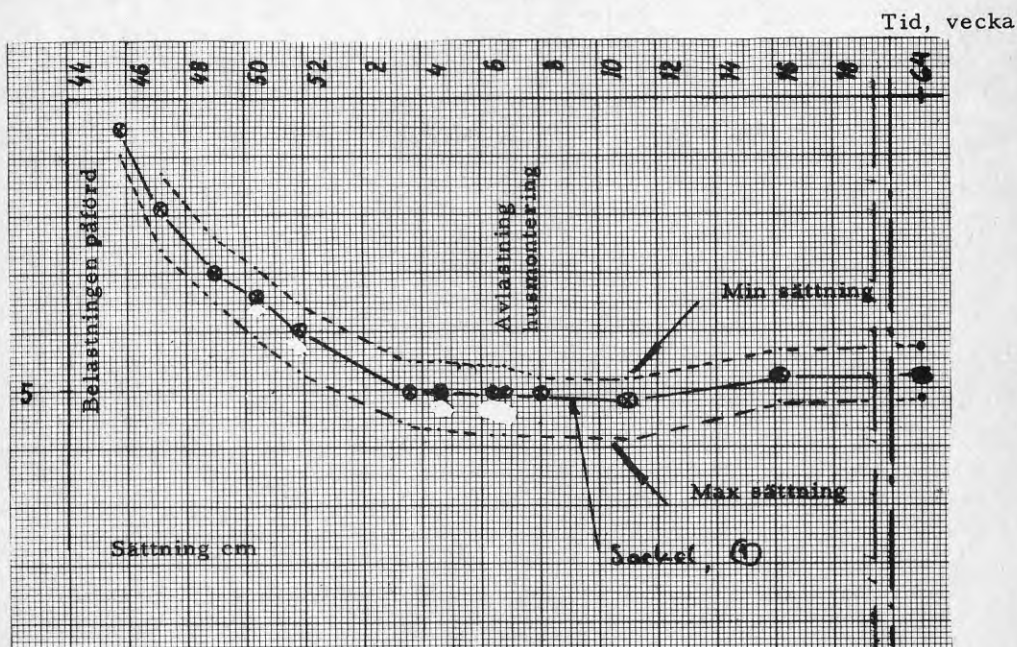
Tabell 2 Maximala sättningar efter 22 veckors belastning

Vid jämförelse mellan de i tabell 2 redovisade sättningarna bör observeras att sättningarna vid provytorna uppmättes 2,0 m under ursprunglig markyta medan plattans sättningar mättes på plattans överkant. I den angivna sättningen för plattan inkluderas alltså en sättning om ca 1 cm i sanden och uppfyllningen under plattan medan för provytorna sättningen för ett 2,0 m tjockt skikt närmast ursprunglig markyta ej ingår. Jordens kompression inom denna del kan också beräknas vara av storleksordningen 1 cm.

En sättningstabell som normeras till ursprunglig markyta får då följande utseende:

Ej stabiliserad provyta:	9 cm
Stabiliserad provyta:	5 cm
Platta hus 144:	4 cm

Genomsnittbelastningen för hus 144 är som framgår av tabell 2 approximativt hälften av lasten under provytorna nämligen 20 respektive 36 kPa. Om lasten hade haft samma utsträckning skulle man därför kunna vänta att sättningen vid den kalkpelarförstärkta provytan skulle ha blivit dubbelt så stor. Emellertid är provytornas area mindre än betongplattans samtidigt som belastningen på plattan ej är jämnt fördelad utan istället är koncentrerad till de bärande väggarna, vilket medför större sättningar än en jämnt fördelad belastning.



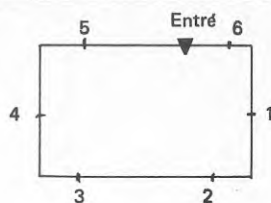
Figur 23 Sättning hus 144, sammanställning

Grund- och sprickvattennivåerna har varit i stort sett konstanta under mätperioden. Det kan nämnas att dagvattnet inom området kommer i allt väsentligt att tillföras marken genom infiltration på gräsytor och genom perkolationsmagasin.

Den första avvägningen utfördes 78-10-17 (obelastad platta) och den sista 80-08-11. Sättningen under denna tid för plattans periferi i 6 punkter visas i tabell 3.

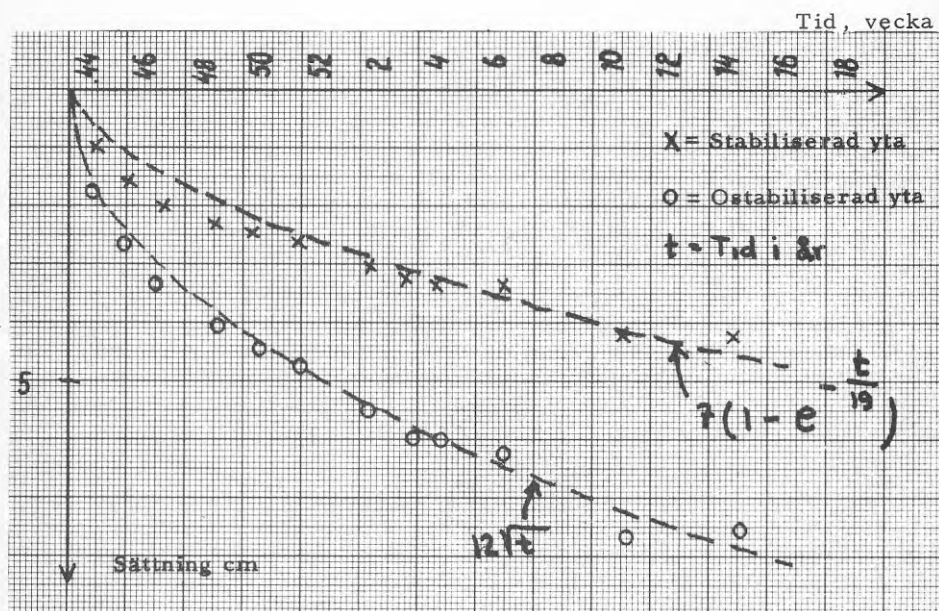
Medelsättningen efter 1 år och 3 månader är med hänvisning till tabellen 4,7 cm och spridningen (ojämnheten) ca $\pm 0,5$ cm. Som framgår av figur 23 uppkom dessa sättningar dock redan efter 2 månader. Huvuddelen av sättningarna utbildades så snabbt som inom 1 månad från husmonteringen räknat.

Punkt	Sättning (cm)
1	4,9
2	4,5
3	4,4
4	4,7
5	4,3
6	5,3



Tabell 3 Sättningar för plattan 1 år och 3 månader efter husmonteringen

De uppkomna sättningarna och sättningsskillnaderna har inte förorsakat några som helst problem för den familj som bor i huset.



Figur 24 Uppmått sättning 2,0 m under ursprunglig markyta i centrum av provhögar vid sidan av hus 144. Sammanställning

7 UTVÄRDERING AV FÖRSÖKSRESULTAT

7.1 Oförstärkt provyta

Sättningen vid den oförstärkta provytan har beräknats på konventionellt sätt som förutsätter vertikal porvattenströmning. Slutsättningen beräknades till ca 22 cm efter ca 2,2 år. Den beräknade slutsättningen svarar mot en kompressionsmodul E som uppskattas till ca 700 kPa. Med en konsolideringskoefficient (c_v) lika med $1 \text{ m}^2/\text{år}$ gäller för konsolideringsförloppet till en början (Terzaghi 1936) approximativt relationen

$$s = 12 \sqrt{t} \text{ där } t < 1,5 \text{ år}$$

och

$$s = \text{sättning (cm)}$$

$$t = \text{tid i år efter lastpåförandet}$$

Som framgår av figur 24 på föregående sida är överensstämmelsen god mellan uppmätta och beräknade sättningar. Det förefaller därför troligt att den verkliga slutsättningen för den oförstärkta provytan blir ca 20 cm.

7.2 Kalkpelarförstärkt provyta

Förutom förbättring av lerans hållfasthets- och deformationsegenskaper medför kalkinblandning en kraftig ökning av permeabiliteten som nämnts tidigare. Kalkpelarna fungerar därför också som dräner i jorden. Vid belastning av en vertikal-dränerad yta beräknas konsolideringsgraden som funktion av tiden $U(t)$ ofta under förutsättning av enbart horisontell porvattenströmning vilket leder till uttrycket (Barron 1948)

$$U(t) = U_0 \left(1 - e^{-c_h t K} \right)$$

där

c_h = horisontell konsolideringskoefficient

t = tid

K = en konstant som beror av kalkpelarradie, m fl faktorer

Anpassas de erhållna mätresultaten till ett sådant funktionssamband $U(t)$, finner man

- att den horisontella konsolideringskoefficienten beräknad enligt ovan är ca $4,5 \text{ m}^2/\text{år}$
- att ca 60% av sättningen inträffat efter 20 veckors belastningstid
- att slutsättningen för den kalkstabiliserade provytan ca 8 månader efter belastningens påförande beräknas till ca 7 cm.

Kalkpelarförstärkningen har således minskat totalsättningen till ca $1/3$ à $1/4$ jämfört med en ej förstärkt yta. Den tid som erfordras för att slutsättningen har reducerats till $1/6$ - à $1/7$ -del av den tid som erfordras för en ej stabiliserad yta.

Den kalkpelarförstärkta ytans styvhet med avseende på vertikal sättning vid belastning motsvarar summan av lerans och kalkpelarnas styvhet. Försummas inverkan av lerans »upphängning» längs den belastade ytans periferi finner man att kalkpelarnas kompressionsmodul redan efter ca 3 månader var ca 20 ggr den omgivande lerans ursprungliga kompressionsmodul.

7.2.1 Inklinometermätningar

I bilaga 3 visas resultat av utförda inklinometermätningar, dvs de horisontalförskjutningar som inträffat i jorden dels för den oförstärkta dels för den kalkpelarförstärkta grusbelastade provytan. Som framgår var den maximala sidoförskjutningen ca 1 cm, vilket motsvarar ca 5% av den vertikala sättningen.

Byggnadsarbetet för det intilliggande huset 144, transporter för vägarbeten m m, tillsammans med de relativt små uppmätta rörelserna medför dock att inte alltför långt gående slutsatser bör dras ur dessa inklinometermätningar. Mätningarna ger dock upplysning om storleksordningen av de sidoförskjutningar som kan inträffa vid belastning, en effekt som ofta försummas, men som i andra sammanhang kan ha betydande inverkan på intilliggande konstruktioner, exempelvis pålar och ledningar.

7.3 Platta för hus 144

Sättningsförloppet för den belastade betongplattan kan uppskattas med hjälp av ekv. (1). Den uppmätta totalsättningen, ca 4 à 5 cm, erhöles redan efter ca 6 veckor, se figur 23 sid. 35.

I stort sett kan rörelserna i jorden antagas öka proportionellt med belastningen. I det aktuella fallet bestod approximativt halva belastningen av »grundvattensänkning», varför totalsättningen för huset utan grundvattensänkning uppskattas till ca 2 à 3 cm.

En sådan jämförelsevis liten sättning medför vanligen inga problem om den är jämnt fördelad. Stora sättningsskillnader mellan olika punkter framkallar dock sprickor och förskjutningar i konstruktionen. En fördel med att grundlägga på kalkpelare är att endast mycket små differenssättningar uppkommer, som den utförda provbelastningen visade. Den största sättningsskillnaden som uppmättes var endast ca 1 cm, se figur 23. Ytterligare en viktig omständighet var att denna sättningsdifferens uppstod direkt i anslutning till grusbelastningen på plattan. Under tiden sättningarna i övrigt utbildades har denna sättningsdifferens varit konstant vilket tyder på att sättningsskillnaden är koncentrerad till grusuppfyllningen under plattan och ej till den kalkpelarförstärkta leran.

Den lutningsändring som är kritisk för ett småhus kan uppskattas till ca 1:300. Maximalt uppmätt vinkeländring för provplattan är ca 1:700. Den uppmätta lutningen är således mycket mindre än den kritiska.

Emellertid är en direkt jämförelse mellan dessa värden missvisande eftersom de lutningsändringar som kan förorsaka sprickor och skador huvudsakligen är de som uppkommer först efter det att huset är färdigställt. I detta fall hade lutningsändringarna avstannat efter mindre än en vecka vilket är en tidsrymd under vilken sprickbenägna inrednings- och fasadmaterial normalt ej hinner monteras. Även om de uppmätta lutningsändringarna utbildats långsammare var de dock så små att några problem knappast skulle ha uppstått.

Av intresse är också den hävning som uppkom när grusöverlasten togs bort. Som framgår av figur 23 är även hävningen tidsberoende.

Sammanfattningsvis kan för belastningsförsöket vid hus 144 sägas

- att uppmätta sättningar stämde bra med i förväg beräknade sättningar
- att uppmätta lutningar med god marginal höll sig inom de som kan accepteras
- att lutningarna uppkom mycket snabbt efter det att plattan belastades.

7.4 Jämförelse med andra grundläggningsalternativ

Det billigaste grundläggningsalternativet (på kort sikt) är självfallet grundläggning direkt på oförstärkt lera. En sådan lösning som medför en totalsättning på flera dm och omfattande snedsättning, skevhet och sprickbildning kan inte godtas av vare sig byggnadsnämnd eller ansvarig projektör. Kostnaden för en grundläggning direkt på lös lera är därför inte relevant.

Vid grundläggning i lös lera väljs ofta pålning. Tidigare användes ofta rälspålar men beroende på minskad tillgång på begagnad räls, risken för korrosion och brott m fl faktorer används idag normalt betongpålar.

I följande tabell 4 visas en översiktlig kostnadsjämförelse (1979 års priser) vid ca 5 m lös lera mellan grundläggning på betongpålar respektive kalkpelare för ett småhus av den typ av 1 1/2-planshus som hus 144 representerar.

Betongpålar (270 x 270 mm)		Kalkpelare (ø 500 mm)	
30 m pålar à 110:—	3 300:—	175 m pelare à 25:—	4 375:—
25 cm betongplatta	4 648:—	12 cm betongplatta	2 490:—
Armering 2750 kg	5 500:—	Armering 800 kg	1 600:—
Summa	13 448:—	Summa	8 465:—

Tabell 4 Översiktlig kostnadsjämförelse vid ca 5 m lös lera mellan grundläggning på betongpålar respektive kalkpelare för ett småhus typ 1 1/2 plan

Som framgår är totalkostnaden för grundläggningen på kalkpelare mindre än för grundläggning på pålar. Av tabell 4 framgår också att denna skillnad främst uppkom-

mer genom att en tunnare platta kan användas vid grundläggning på kalkpelare tack vare en gynnsam lastfördelning.

Bland övriga fördelar med kalkpelargrundläggning kan nämnas

- Ett jämnare sättningsförlopp i övergången mellan platta och intilliggande markanläggningar jämfört med pålgrundläggning
- Lätt maskinell utrustning kan användas med god framkomlighet även på lös mark
- Låg buller- och vibrationsnivå, viktigt i känslig tätortsmiljö
- God precision i utförandet (inga extra inmättnings- och omkonstruktionsarbeten).

En möjlig nackdel med kalkpelargrundläggning är att viss växtlighet påverkas ogynnsamt av hög kalkhalt i jorden. Det finns dock en omfattande flora av nytto- och prydnadsväxter som gynnas av god tillgång på kalk, exempelvis gräsmattor, många blommande buskar, syrén och solrosor.



Figur 25 Kalkpelarsättning med LPS-3 i Glömsta, Eskilstuna



Figur 26 Bandgående aggregat och kalkcistern ger mycket god framkomlighet

En annan faktor som i vissa fall kan utgöra en nackdel är den tid, ca 3 månader, som krävs för att kalkpelarna skall uppnå erforderlig bärförmåga. Denna extra tid skall dock vägas mot de besparingar i material och arbete som kan uppnås såväl i bygg- som i driftskedet.

8 PRAKTISKA RÅD OCH SLUTSATSER FRÅN FÖRSÖKEN I GLÖMSTA

- 1) Den vid laboratorieundersökningar erhållna tillväxten i skjuvhållfasthet, från ca 10 kPa i ursprunglig lera till ca 100 à 150 kPa i kalkinblandat material efter 3 månader stämde väl överens med de i fält uppmätta värdena. För de kalkpelare som utsatts för stark kyla var emellertid hållfasthetstillväxten till en början mycket långsam. Senare ökade hållfastheten så att slutresultatet blev det förutsatta. Nyttillverkade kalkpelare bör således skyddas mot tjäle och stark kyla.

- 2) Slutsättningen för den kalkpelarförstärkta ytan, där kalkpelarna var ca 5 m långa vilket motsvarar avståndet till fast botten, kunde beräknas med god noggrannhet. Kalkpelarnas kompressionsmodul antogs motsvara 1 500 c_u där c_u är lerans ursprungliga odränerade skjuvhållfasthet. Underlagets styvhet förutsattes motsvara summan av den oförstärkta markens och kalkpelarnas styvheter. Belastningen påfördes 3 månader efter tillverkningen av kalkpelarna.

- 3) Sättningarnas tidsförlopp kunde approximativt beräknas ur antagandet att porvattenströmningen skedde horisontellt (jfr vertikaldränering). Den horisontella konsolideringskoefficienten c_h var ca 4 gånger större än den vertikala som erhålls ur ödometerförsök. De observerade sättningarna motsvarade ett värde på c_h som var ca $1 \text{ m}^2/\text{år}$ (ca $3.1 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sek}$).

- 4) Om sättningarna för de båda grusbelastade provytorna jämförs är den sammantagna effekten av kalkpelarna
 - att kalkpelarna minskade slutsättningarna med ca 70 à 80%
 - att kalkpelarna medför avsevärt jämnare sättningar
 - att kalkpelarna reducerade den tid som erfordras för att uppnå slutsättningen till 1/6- à 1/7-del av den tid som erfordras för en ej stabiliserad yta

- 5) Sidoförskjutningarna vid de grusbelastade ytorna var av storleken någon cm. Mätningarna kan emellertid ha påverkats av närbelägna pågående arbeten. Resultaten bör endast betraktas som approximativa.
- 6) Den största sättning som uppkom vid provbelastning av betongplattan till hus 144 vid dubbla den dörutsatta huslasten ($2 \times 10 = 20 \text{ kPa} = 2 \text{ Mp/m}^2$) var endast ca 5 cm. Sättningsarna upphörde redan ca 1 månad efter belastningens påförande. De sättningsskillnader (lutningar) som uppmättes understeg väsentligt de som brukar anges som kritiska.
- 7) En viktig observation var att sättningskillnaderna utbildades mycket snabbt, redan inom några dagar sedan lasten utlagts (se figur 23).
- 8) Kostnaden för grundläggning på kalkpelare blev i det aktuella fallet lägre än vid grundläggning på pålar. Detta sammanhänger främst med den tunnare platta som erfordras vid grundläggning på kalkpelare jämfört med en pålunderstödd platta.
- 9) Som en nackdel med kalkpelargrundläggning har framförts att vissa växter reagerar negativt vid hög kalkhalt i jorden. Vidare kan den tid som erfordras för att uppnå en tillräckligt hög hållfasthet (ca 3 månader) vara en begränsning. Dessa olägenheter skall dock ställas i relation till kalkpelarmetodens fördelar i form av en lättare grundkonstruktion, möjligheten att använda arbetsmaskiner med stor framkomlighet samt liten miljöpåverkan i form av mindre buller och vibrationer.
- 10) De erhållna försöksresultaten bör kunna utnyttjas generellt där avståndet till fast botten ej överstiger 8 à 10 m och kalkpelarnas längd motsvarar lerlagrets tjocklek. I de fall lerans tjocklek är större än kalkpelarnas längd kan de refererade positiva erfarenheterna av belastningsförsöken som pågår sedan 1972 på SGIs provfält vid Skå utanför Stockholm, bilda underlag för utvärdering av metodens tillämpbarhet och för val av konstruktionslösning.

REFERENSLISTA

- (1) Bennermark, H. Rapport över laboratorieförsök med kalkstabiliserad lera (Statens Geotekniska Institut 1969) SGI K9306.
- (2) Broms, B. & Boman, P. Stabilisering av kohesionsjord med kalkpelare. Bidrag till NGM 1975. Tekniska Högskolan, 1975.
- (3) Broms, B. & Boman, P. & Paus, K. Kalkpelarmetoden. (Kompendiedel i Sveriges Teknologförenings kurs Jordförstärkningsarbeten). Stockholm 1974.
- (4) Broms, B. & Boman, P. Stabilization of soil with lime columns, Design handbook. Institutet för jord- och bergmekanik vid Tekniska Högskolan i Stockholm, 1977.
- (5) Broms, B., Paus, K., Boman, P. & Söderlind, G. Kalkpelarmetoden. Uppföljning i kv. Myren, Huddinge, Byggeforskningsrapport under utgivning.
- (6) Broms, B. & Boman, P., 1977. Lime columns a new type of vertical drain, contribution to: International society for soil mechanics and foundation engineering, Tokyo.
- (7) Hellman, L. & Holm, G. Huddinge kommun. Kalkpelarförstärkning vid Lövbäcksvägen. (Statens Geotekniska Institut 1976), SGI 50638.
- (8) Hellman, L. & Holm, G. 1978. Lime column stabilization investigation and demand specifications, SGI, Linköping.
- (9) Lindskog, G. & Boman, P. Djupstabilisering av leror – »Kalkpelarmetoden». Rapport över ett fullskaleförsök på SGIs provfält i Skå-Edeby. (Statens Geotekniska Institut 1972) SGI K7.
- (10) Wäre, O. Svenska byggnadskalkers inverkan på finkorniga jordars väg- tekniska egenskaper. Rapport nr 41, Statens väg- och trafikinstitut, 1974.
- (11) Torstensson, B.-A., 1978. Tuveskredet, Göteborg, arb. No. 778690, J & W, Stockholm.
- (12) Barron, R.A., 1948. Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells, Transactions. ASCE Vol. 113, Paper No. 2346.

BILAGEFÖRTECKNING OCH BILAGOR

	<u>Sid.</u>
Bilaga 1 Kalkpelarprotokoll	1:1 – 1:5
Bilaga 2 Sättningsmätningar	2:1 – 2:3
Bilaga 3 Inclinometermätningar	3:1 – 3:2
Bilaga 4 Mätutrustning, sättningar	
Bilaga 5 Dimensioneringsberäkningar	

PROTOKOLL FRÅN KALKPELARMONTERING

Kalkpelarstabilisering, Glömsta, 15-16 juni 1978

- Pelartäthet: Centrumavstånd ca 2 m under grundplatta och 1,4 m under provbelastningsytorna.
- Kalkmängd: 12 \pm 2 kg i 2 st provpelare
16 \pm 2 kg i 2 st provpelare
20 \pm 2 kg i 32 st provpelare
16 \pm 2 kg i 48 pelare under provbelastningsytorna.
16 \pm 2 kg i 57 pelare under blivande grundplatta.
- Pelardjup: Jorden förstärktes ned till underliggande friktionsmaterial (Ca 5,5 m)
- Utsättning: Pelarcentrum sätts ut. Noggrannhet \pm 20 mm.
- Rapportering: Protokoll förs för varje kalkpelare avseende kalkmängd och pelardjup.

Kalkpelarsättning 19 juni 1978 Hus 144

Pelare nr	Djup (m)	Mängd (kg)	(kg/m)	Anmärkning
1	4,9	84	17,1	
2	5,3	95	17,9	
3	5,0	84	16,8	
4	5,0	96	19,2	
5	5,0	86	17,2	
6	5,2	77	14,8	
7	5,4	80	14,8	
8	5,6	77	15,4	
9	5,0	80	16,0	
10	4,6	67	14,6	
11	5,0	80	16,0	
12	4,8	86	17,9	
13	5,0	58	11,6	
14	5,0	78	15,6	
15	5,0	82	16,4	
16	5,0	86	17,2	
17	5,0	83	16,6	
18	4,8	68	14,2	
19	4,7	73	15,5	
20	5,0	90	18,0	
21	4,5	67	14,9	
22	5,2	78	15,0	
23	5,1	68	13,3	
24	5,0	81	16,2	
25	5,2	90	17,3	
26	4,3	58	13,5	
27	5,2	84	16,2	
28	4,2	67	16,0	
29	5,0	78	15,6	
30	4,7	76	16,2	

Pelare nr	Djup (m)	Mängd (kg)	(kg/m)	Anmärkning
31	5,0	77	15,4	
32	5,2	86	16,5	
33	3,8	56	14,7	
34	5,3	87	16,4	
35	3,7	56	15,9	
36	5,2	74	14,2	
37	5,5	80	14,5	
38	5,0	80	16,0	
39	5,3	90	17,0	
40	4,1	70	17,1	
41	5,1	71	13,9	
42	4,6	68	14,8	
43	5,0	74	14,8	
44	5,5	77	14,0	
45	5,2	76	14,6	
46	4,8	84	17,5	
47	4,7	68	14,5	
48	4,8	84	17,5	
49	4,8	71	14,8	
50	4,1	60	14,6	
51	5,4	72	13,3	
52	5,0	77	15,4	
53	5,1	88	17,3	
54	3,9	54	13,8	
55	4,1	57	13,9	
56	4,6	79	17,2	
57	5,0	90	18,0	
Snitt	277,9	4363	15,7	Snitt 15,7 kg/m

PROTOKOLL

Kalkpelarsättning 19-22 juni 1978, provyta Glömsta

Pelare nr	Djup (m)	Mängd (kg)	(kg/m)	Anmärkningar
1	4,5	83	18,4	x alla pelare > 14
2	4,7	75	16,0	x
3	5,6	80	16,0	x "kokning"
4	4,3	80	18,6	x
5	4,5	82	18,2	x
6	4,6	88	19,1	
7	5,0	95	19,0	x
8	4,2	74	17,6	x
9	5,0	80	16,0	x
10	4,5	77	17,1	x
11	5,0	80	16,0	x
12	4,7	89	18,9	
13	5,2	91	17,5	x
14	4,6	76	16,5	x
15	4,4	70	15,9	x
16	4,7	96	20,4	x
17	5,0	89	17,8	x
18	4,9	85	17,3	
19	5,5	108	19,6	x
20	5,2	83	16,0	x
21	5,0	80	16,0	x
22	5,0	78	15,6	x
23	4,8	84	16,3	x
24	5,0	93	16,8	
25	5,3	78	17,5	x
26	5,0	80	15,6	x
27	5,1	74	15,7	x
28	5,0	76	14,8	x
29	5,0	78	15,1	x
30	5,1		15,3	

Pelare nr	Djup (m)	Mängd (kg)	(kg/m)	Anmärkning
31	5,2	93	17,9	x
32	5,0	80	16,0	x
33	5,0	81	16,2	x
34	4,5	81	18,0	
35	4,8	73	15,2	x
36	4,9	74	15,1	
37	5,3	91	17,2	x omkörd 2,5 m
38	5,3	78	14,7	x
39	5,0	89	17,8	x
40	4,4	86	19,5	
41	5,0	77	15,4	x
42	5,1	74	14,5	
43	5,2	86	16,5	x kraftig "kokning"
44	4,6	83	18,0	x
45	4,9	82	16,7	x
46	4,5	80	17,8	
47	4,7	75	16,0	x
48	5,2	80	15,4	
	234,4	3943	16,8	

x skrivaren sönder,
registrerar ej djupet

snitt 16,8 kg/m

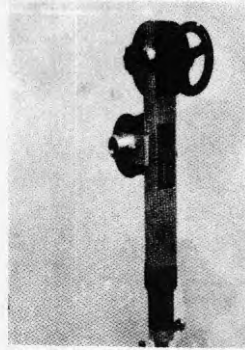
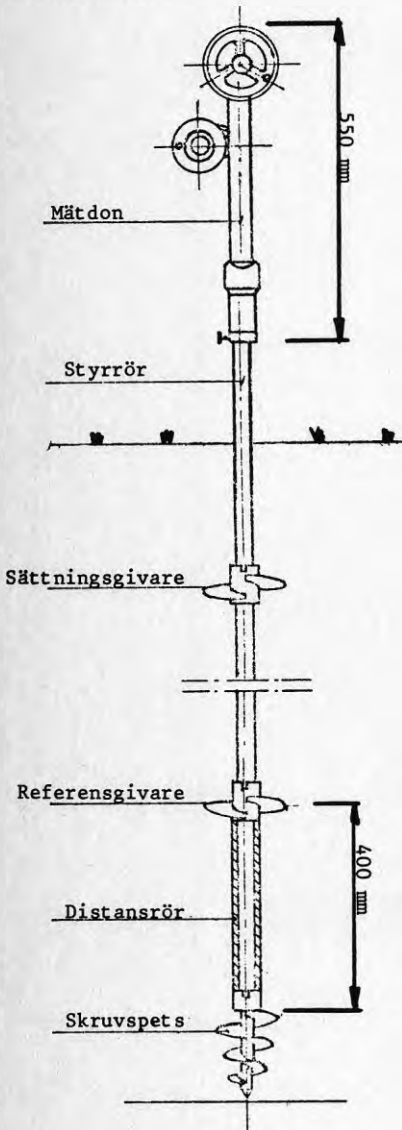
Kalkpelarsättning 22 juni 1978, Testpelare, Glömsta

Pelare nr	Djup (m)	Mängd (kg)	(kg/m)	Anmärkning
1	4,3	78	18,1	
2	4,4	82	18,6	
3	3,8	90	23,7	
4	4,5	120	26,7	
5	3,6	50	13,9	
6	4,0	72	18,0	

Pelare nr 9, 3, 43, 37 i provytan tillverkade med maskinen trasig.

Pelare nr 31, 25, 19, 13, 7, 1 och testpelare utförda med kalkmatningen lagad, därav den stora kalkmängden.

Testpelare 5 och 6 är enligt maskinisten tillverkade med max strypning av kalkmängden.

Sättningsmätningstrustning (AB CalduS)

ANVÄNDNING: Sättningsmätare medger mätning av vertikala sättningsrörelser på ett godtyckligt antal nivåer i en mätstation. Genom sättningsmätningar kan beräkningsantaganden vid förbelastningar och överhöjningar kontrolleras. Stora besparingar kan göras genom minskad belastningstid. På motsvarande sätt kan oförutsedda kostnader och skador undvikas genom för tidig borttagning av belastningsmassor. Sådana beslut kräver säker information om de mark-sättningar som uppkommit på olika nivåer. Sättningsmätaren 2582-B tillmötesgår högt ställda krav på fältmässighet och noggrannhet och har vid flera projekt bevisat sin tillförlitlighet under skiftande förhållanden.

KONSTRUKTION: Med hjälp av en skruvspets och ett vridrör nedförs ett styrör och en referensgivare till ett fast lager under det djup där mätningar är aktuella. Ovanför detta monteras sättningsgivare på styrörret som skarvas med mässingshylsor. Mättonet består av en vinda för måttband och kabel i vars nedre ände finns en känselkropp, samt batterifäste och summer.

MONTERING, MÄTNING: Styrörret nedförs med hjälp av ett vridrör som sedan tas upp. Med hjälp av vridröret skruvas sedan distansrör, referensgivare och övriga givare ner till önskat djup. Vid mätning träas mättonet på styrörret och då känselkroppen befinner sig mitt för en sättningsgivare ljuder en summersignal och motsvarande djup avläses. Skruvspetsen kan förses med filtertillsats varvid styrörret även kan användas för grundvattenmätning.

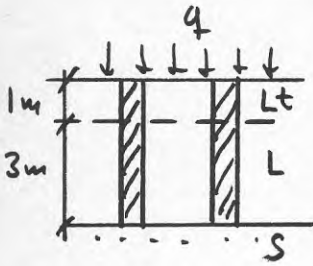
DATA: Styrör : PVC, $\phi=32$ mm godstjocklek 2,5 mm

Sättningsgivare : Envarvig spiral, nav av magnetmaterial

Referensgivare : Samma som sättningsgivarna.

Distansrör : Stålrör, ϕ 37 mm, längd 400 mm

Skruvspets : Trevarvig konisk spiral, alternativt annan utformning

Sättningsberäkning.

$c_u = 10$ kPa för ursprunglig lera

$E_{\text{lera}} = 650$ kPa (jfr ödometerförsök)

57 kalkpelare fördelas på ytan 100 m^2 .

Belastning $q = 20$ kPa

$E_{\text{kalkpelare}} = 15000$ kPa ; $A_{\text{kalkpelare}} = 0.2 \text{ m}^2$

För 1 m^2 av den förstärkta ytan under hus 144 gäller

$$k_1 = (AE/L)_{\text{kalkpelare}} = 0.57 \cdot 0.2 \cdot 15000 / 4 = 428 \text{ kN/m}$$

$$k_2 = (AE/L)_{\text{lera}} = (1 - 0.2 \cdot 0.57) \cdot 650 / 3 = 191 \text{ "}$$

$$k_1 + k_2 = 619 \text{ "}$$

$$\text{Ytans sättning} = q / (k_1 + k_2) = 20 / 619 = 0.03 \text{ m}$$

För 1 m^2 av den förstärkta ytan under grusprovlusten gäller på samma sätt

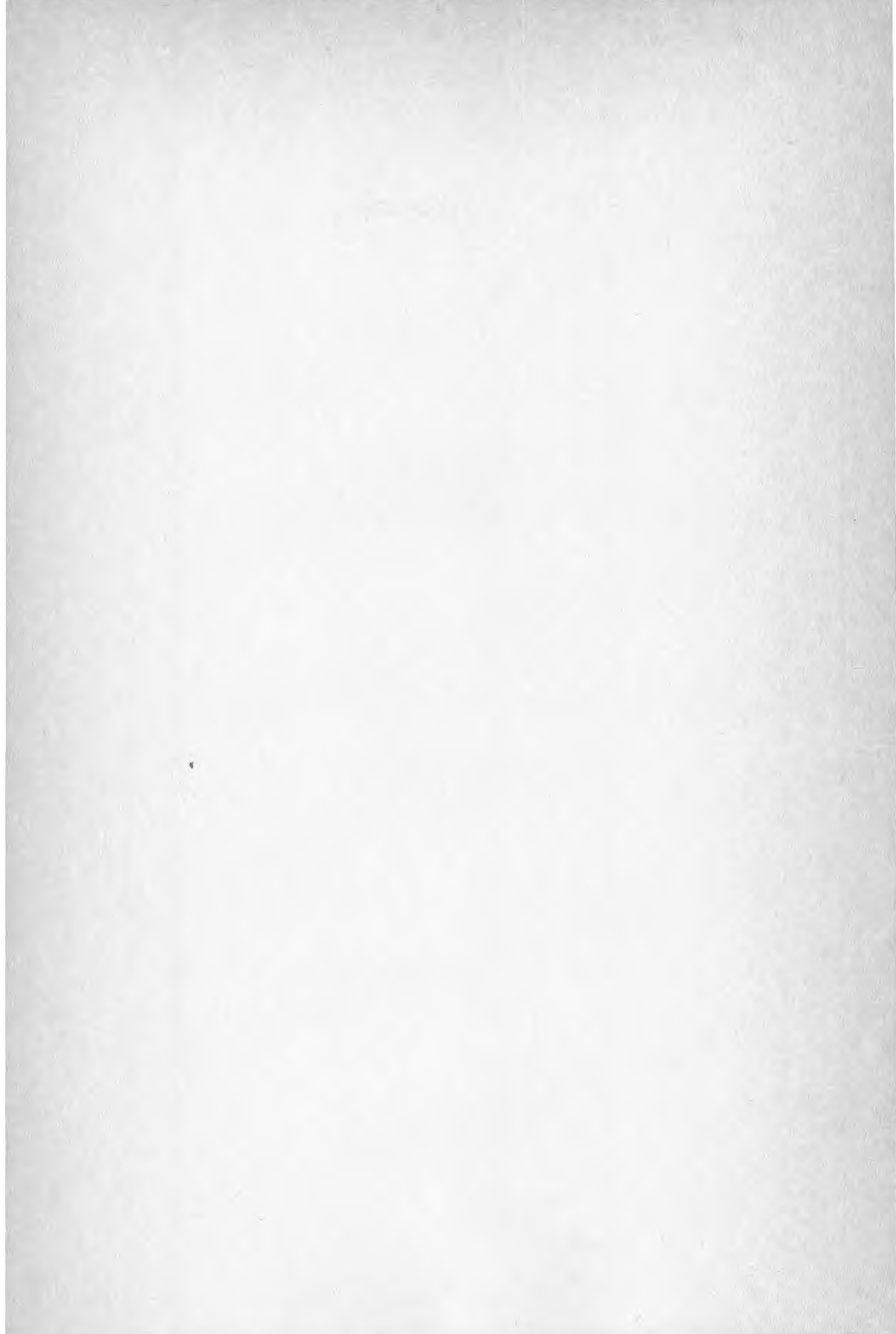
$$k_1 = (1/1.4) \cdot 0.2 \cdot 15000 / 4 = 535 \text{ kN/m}$$

$$k_2 = (1 - 0.2/1.4) \cdot 650 / 3 = 185 \text{ "}$$

$$k_1 + k_2 = 720 \text{ "}$$

$$\text{Ytans sättning} = 36 / 720 = 0.06 \text{ m.}$$

Utan kalkpelare erhålles där $36 / 185 = 0.2 \text{ m.}$





Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771307-0 från Statens
råd för byggnadsforskning till Inst. för jord- och bergmekanik, KTH.

R52: 1981

ISBN 91-540-3485-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700352

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirka pris: 25 kr exkl moms