



**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**  
**SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE**

**RAPPORT**  
**REPORT      No 9**

**Horisontalarmerade fyllningar  
på lös jord**

**JOHAN BELFRAGE**

**LINKÖPING 1981**





**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**  
**SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE**

**RAPPORT**  
**REPORT      No 9**

**Horisontalarmerade fyllningar  
på lös jord**

**JOHAN BELFRAGE**

Detta projekt har finansierats av SGI och Styrelsen för teknisk utveckling, forskningsanslag nr 77-6942.

**LINKÖPING 1981**

**ISSN 0348-0755**

Tryck-Center AB Linköping 1981

1979 Lanprodukter Linköping

## FÖRORD

Projektet som presenteras i föreliggande rapport behandlar problemen kring vävgrundlagda fyllningar på lös jord.

Projektet omfattar en serie modellförsök samt teoretiska analyser utförda vid Statens geotekniska institut (SGI) i Linköping. Inom projektets ram har även ingått en inledande litteraturstudie i ämnet samt en mer detaljerad studie av ett likartat försök initierat och bekostat av Imperial Chemical Industries Ltd (ICI) och utfört på Department of Civil Engineering, University of Strathclyde i Glasgow.

I föreliggande rapport beskrivs SGI:s och ICI:s modellförsök endast kortfattat. För den som vill ha en utförligare redovisning av SGI:s försök finns en arbetsrapport, där bl a den teoretiska analysen redovisas. Arbetsrapporten kan lånas från SGI. Följaktligen innehåller bifogade litteraturlista ej heller all den litteratur som studerats för SGI:s modellförsök. Även här hänvisas till Arbetsrapporten. Vad beträffar ICI:s försök hänvisas till den doktorsavhandling som presenterats angående försöken.

Projektet startades av överdirektör Leif Andréasson, som drog upp riktlinjerna för modellförsöken, enligt vilka projektet i stort sedan utförts.

Modellförsöken på SGI har till viss del finansierats med anslag från Styrelsen för teknisk utveckling (STU). Den resterande delen har finansierats med egna medel.

Genomförandet av projektet hade inte varit möjligt utan hjälp. Ett stort tack vill jag rikta till mina kollegor på SGI. Vidare vill jag rikta ett tack till ICI i England, som ställt material från sina försök till förfogande.

Linköping i december 1980

Johan Belfrage



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SID
1 SUMMARY	7
2 SAMMANFATTNING	15
3 SYFTE OCH BAKGRUND	18
4 BESKRIVNING AV FÖRSÖKEN	19
4.1 SGI:s modellförsök	20
4.2 ICI:s modellförsök	27
4.3 Skillnader i modellförsökens utformning	30
5 RESULTAT	31
5.1 SGI:s modellförsök	31
5.2 ICI:s modellförsök	45
6 DISKUSSION AV FÖRSÖKSRESULTATEN	53
6.1 Jämförelse mellan försöken	53
6.2 Stabilitet och bärighet vid SGI:s modellförsök	54
6.3 Krafter i väven vid ICI:s modellförsök	58
7 SLUTSATSER	59
8 LITTERATURFÖRTECKNING	60





## 1 SUMMARY

The background, and one of the reasons for this project, is the different ideas about the stabilising effects of fabrics placed under an embankment to be built on soft subsoil.

This project consists primarily of the model tests carried out at the Swedish Geotechnical Institute (SGI). Furthermore a literature study has been carried out mainly into another model test initiated and financed by Imperial Chemical Industries Ltd. (ICI). The project has been financed partly by the Swedish Board for Technical Development (STU) and by SGI.

The purpose of the project has been as follows:

- to find out if fabrics have any effect at all.
- to find out how fabrics work under an embankment.

The conclusions drawn from the results may make it possible to determine the necessary quantity and quality of the fabrics.

The difference between the SGI and the ICI model tests is that the behaviour of the subsoil has been studied at SGI, whereas the embankment deformations have been studied at ICI.

The test has been performed at SGI on a model of an embankment on soft clay, with different numbers of fabric layers at the base of the embankment. The scale used for the model test was 1:20 for the shear strength of the model subsoil material.

A mixture consisting of 13 percent by weight of bentonite and water has been used as the model material for the soft clay. The shear strength of the mixture, determined using the SGI laboratory vane apparatus,

was about 0.5 kPa. The model material for the embankment consisted of Silver sand and, instead of the fabric, a 0.5 mm thick rubber membrane was used.

The tests were carried out in a box of plexiglass. During the tests, the bank was built up step by step until failure occurred in the subsoil. Each step took about five minutes. The width of the top of the embankment was kept constant during the whole test, i.e. the toe of the slope was moved as the embankment height increased. A photograph was taken between every step in the construction of the embankment.

The test series included one test without fabric, one test with 1 layer, one test with 3 layers and one test with 4 layers of rubber membrane. Furthermore, 2 tests were carried out with 6 layers of rubber membrane and one test with 1 layer of the AB Fodervävnader woven fabric of grade 600, which is the fabric used in road construction.

From the tests, it can be seen that the use of fabrics at the base of the embankment permitted the construction of a higher embankment before failure occurred in the subsoil than was the case for an embankment without fabric.

To study the test results, a curve representing the relationship between the settlement at the base of the embankment and the actual load divided by the shear strength of the bentonite mixture was drawn for each test. These curves showed a sharp discontinuity after which the settlement accelerated. Furthermore, a "failure load" was determined for each test. This was the load at which a slip surface had developed in the active zone under the embankment. The load corresponding to the discontinuity turned out to be the same as the load at which the slip surface had developed in the active zone under the embankment.

The  $N_C$  value ( $= \frac{F_C \cdot q_e}{c}$ ) was calculated for the actual failure loads, converted to an equivalent vertical load without internal friction. This showed that the  $N_C$  value increased with the amount of fabric. In the calculation, the factor of safety  $F_C$  was assumed to 1.0 and the shear strength was the measured value.

Test	$N_C$
without fabric	3.25
1 layer of rubber membrane	3.89
3 layers of rubber membrane	3.80
4 layers of rubber membrane	4.49
6 layers of rubber membrane	4.29
6 layers of rubber membrane	4.58
1 layer of AB Foderväv'nader's woven fabric, grade 600	5.51

The friction along the box sides has not been taken into account at the calculation.

In some of the tests, the construction of the embankment was continued after the slip surface in the active zone had developed. A slip surface also developed in the passive zone after some more steps in the construction. The slip surface was not totally circular and in part followed the bottom of the box. In the calculation of this slip surface, a pushing active earth pressure in the embankment and friction along the box sides of the embankment were taken into account. With these assumptions and without taking the fabrics into account the following factors of safety were obtained.

Test	$F_C$
without fabric	1.13
3 layers of rubber membrane	0.89
6 layers of rubber membrane	0.86
1 layer of AB Foderväv'nader's woven fabric, grade 600	0.78

Figure 11 in the following text, shows the relationship between the "failure load" divided by the shear strength of the bentonite/water mixture and the modulus in tension, the ratio between the force and the tension, of the fabric used. The failure load has been reduced in proportion to the friction along the box sides. The figure shows that there exists for the fabrics an upper limit for the modulus in tension beyond which the fabrics are not fully utilised.

A stereocomparator was used to analyse the photographs taken under the tests. This apparatus permitted measurement of the magnitude and directions of deformation in the subsoil. This study provided a deformation pattern for the subsoil in each test. These deformations appear to be almost the same for all the tests. However, the deformations under the embankment became more vertical as the fabric strength increased.

The total deformations at the base of the embankment may be split up into horizontal and vertical deformations. The tests show that the horizontal deformations decrease as the fabric strength increases. In the case of the vertical deformations, there is a tendency towards a levelling-out of the settlements: the settlements under the middle of the embankment decrease and those under the slope increase. The settlements are almost the same for all the tests, in spite of the difference in failure load.

ICI also studied an embankment on soft subsoil. In these tests, the deformations in the embankment were studied. However, the tests were not continued until a slip surface developed in the subsoil. Elastic rubber with a Young's modulus of 655 kPa was chosen as the model material for the soft subsoil. The thickness of the "subsoil" was 0.3 m. Leighton Buzzard sand was used as bank material and one of the ICI non-woven products was used as the fabric in the model. The tests

were carried out in a glass box. The bank was built up in three steps to the predetermined heights of 0.3 m, 0.6 m and 0.9 m. The construction of the embankment was carried out continuously while the location of the toe of the slope was maintained in the same position. Photographs were taken during the tests. The stereo-technique was used to study the ICI tests. The study was only carried out for the three embankment heights.

The results show that fabrics at the base of an embankment reduced the horizontal deformation at the embankment base. The effect on the vertical deformation is more re-distributive, which means that the vertical deformation under the middle of the bank decreased while those under the slope increased. The effect of the fabrics was greater on low embankments and for an increasing width at a given height.

An attempt was made to estimate the effect of the fabrics, on the basis of the calculations of the slip surfaces obtained at the SGI tests. This assessment was made using circular slip surfaces since a calculation of these showed relatively good agreement with the calculation of the slip surfaces obtained. The following attempt was made to explain the function of the fabric. The fabric is assumed to act as follows. It keeps the embankment together, which means that the angle of internal friction increases. This should have the effect of the slip surface in the bank becoming more and more steep, ending up in the vertical position in the embankment at failure. The bank acts increasingly as a rigid footing.

On the basis of this hypothesis, the fabric is assumed to have the effect that the slip surface at failure becomes vertical in the bank. It can be assumed that at failure, in a circular slip surface in the subsoil, an active earth pressure in the opposite direction is created against the vertical slip surface in the bank. In

calculating this case, the effect of the fabrics should be replaced by an active earth pressure in the opposite direction. The following factors of safety were obtained when using this method of calculation on the slip surfaces obtained:

Test	F <sub>c</sub>
without fabric	1.13
3 layers of rubber membrane	1.11
6 layers of rubber membrane	1.09
1 layer of AB Foderväv'nader's woven fabric, grade 600	1.03

The negative earth pressure is supposed to be equal to the maximum positive active earth pressure which is usually used in stability calculations.

The factor of safety for the test with 1 layer of the AB Foderväv'nader grade 600 woven fabric differs from the others. It may be due to the fact that the fabrics are more stiff in the model and that the box in which the tests were carried out was too small for this embankment and slip surface.

With this calculation method in mind, the following design principle may be formulated. The procedure for obtaining the height of an embankment with fabrics and a safety factor of 1.5 is as follows. The height of embankment which gives the most dangerous slip circle with a safety factor of 1.0 is first calculated, starting from the method of calculation with a negative active earth pressure in the embankment. This height is divided by 1.5 and the height obtained is then the allowable height.

Proceeding from the material constants and the results of the tests, the following demands on the fabrics may be defined so that it will be fully utilised. The fabric shall have a modulus in tension so that at an

extension corresponding to failure in the subsoil (about 1.5% for clay) will mobilize a force corresponding to the maximum active earth pressure in the embankment.

In the report on the ICI tests, the forces in the fabric have been calculated from the measured deformations. These forces are of the same size as those corresponding to an active earth pressure.

Furthermore, a calculation using the finite element method was made. This showed a good agreement concerning the deformation zone. The horizontal deformations received at the finite element analysis without fabric showed a good agreement with the horizontal deformations received at the laboratory test, while the vertical deformations at failure were three times larger at the finite element analysis compared with those received at the laboratory test.

From the results shown and the conclusions drawn, there is a good reason for believing that:

- in the undrained state the horizontal deformations are reduced in magnitude and the vertical deformations are reduced in magnitude and made more uniform throughout the embankment by the use of fabrics.
- polyester fabrics placed under an embankment on soft soil have a positive influence on the bearing capacity.
- for every occasion there is an upper limit of the modulus in tension for the fabrics. The fabrics are not fully utilised beyond this limit.

The results of the model test justify continued research on this subject.





## 2 SAMMANFATTNING

Bakgrunden och en av orsakerna till detta projekt är de olika uppfattningar om den verkan en polyesterväv, inlagd under en vägbank på lös lera, har på stabiliteten.

Projektet har bestått av modellförsök, utförda på Statens geotekniska institut, av en vävgrundlagd vägbank på lös undergrund. Vidare har en litteraturstudie gjorts där tyngdpunkten lagts på ett annat modellförsök, initierat och bekostat av Imperial Chemical Industries Ltd (ICI).

Både SGI:s och ICI:s modellförsök är utförda med en modellbank av friktionsjord som fyllts upp på en lös undergrund med begränsat djup. Skillnaden mellan de utförda modellförsöken är att vid SGI har deformationerna i undergrunden studerats medan ICI studerat rörelserna i banken, överbyggnaden.

Vid utvärderingen av SGI:s försök framgick att vid användning av väv under vägbanken erfordrades en högre bank för att brott i undergrunden skulle inträffa än för en bank utan väv.

Vid en beräkning av  $N_c = \frac{F_c \cdot q_e}{c}$  för de aktuella brottlasterna, omvandlade till ekvivalenta stavlaster, framgick att dessa i stort sett ökade med ökande mängd väv.  $F_c$  har valts till 1 och  $c$  är skjuvhållfastheten hos modellmaterialet för undergrunden. Värdena framgår av nedanstående tabell.

Försök	$N_c$
utan "väv"	3,25
1 lager modellväv	3,89
3 lager modellväv	3,80
4 lager modellväv	4,49
6 lager modellväv	4,29
6 lager modellväv	4,58
1 lager AB Fodervävna- ders väv kval 600	5,51

En jämförelse mellan brottlasten, normerad för undergrundens skjuvhållfasthet, och tøjmodulen hos den vid försöket använda väven visar att det finns en övre gräns för vävens tøjmodul över vilken den ej utnyttjas fullt.

Som resultat från försöken erhöles även rörelsemönstret vid brott hos undergrunden. Dessa rörelser visar sig vara i stort sett desamma för de olika försöken. Rörelserna under banken blir emellertid mer vertikala ju styvare väv som läggs in.

Den totala rörelsen under banken kan delas upp i en horisontell del och en vertikal del. Av försöken framgår att den horisontella rörelsen minskar ju styvare väv som används. Vad beträffar den vertikala rörelsen finns en tendens till en utjämning av sättningen på så sätt att den minskar mitt under banken medan den ökar litet under släntkrön och slänt. Den vertikala rörelsen är ungefär lika stor vid brott hos de olika försöken trots skillnaden i brottlast.

ICI:s försök, där väv lagts in i underkant bank, visade att denna hade en reducerande effekt på de horisontella rörelserna i underkant bank medan effekten på de vertikala rörelserna var mer omfördelande. Detta innebär att den vertikala rörelsen mitt under banken minskade medan den ökade under släntkrön och krön. Effekten av väven kunde sägas vara större för låga bankar och för en ökning av bankbredden vid en given höjd.

Trots den stora skillnaden mellan försöksmodellerna har "vävförstärkningen" i de båda försöksserierna visat sig ge en sättningsutjämning inom vägbankens krönyta.

Med utgångspunkt från beräkningarna av de vid SGI:s försök erhållna glidytorna gjordes försök att uppskatta vävens inverkan. Följande hypotes för brottstadiet ställdes upp. Armeringen antas verka så att den håller ihop banken, dvs ökar friktionsvinkeln i banken. Detta

skulle då ha som effekt att glidytan i banken brantas upp mer och mer för att i brottstadiet närma sig en vertikal glidyta i banken. Verknings sättet hos banken kommer alltså successivt att övergå från en vanlig bank till ett styvt fundament. Med utgångspunkt från detta resonemang antas armeringen alltså ha den effekten på banken att glidytan i brottstadiet blir vertikal. Härvid kan antas att det vid brott i banken byggs upp ett mothållande aktivt jordtryck mot den vertikala glidytedelen i banken. I undergrunden förutsätts glidning ske längs en cirkulär cylindrisk glidyta. Som ansats för en beräkning av fallet skulle alltså effekten av armeringen ersättas med ett mothållande aktivt jordtryck i banken.

I rapporten från ICI:s försök finns krafterna i väven beräknade med utgångspunkt från de uppmätta rörelserna. Vid en jämförelse med den horisontella kraften motsvarande ett aktivt jordtryck enligt hypotesen från SGI:s försök framgår att krafterna är av samma storleksordning. Det skall beaktas att SGI:s hypotes gäller brottstadiet.

Den analys med FEM-metod som utfördes av modellen i SGI:s försök visade att flytzone n som erhö lls vid beräkningen stämde väl överens med glidytor na i försöken. De sättningar som däremot erhö lls vid beräkningen var upp till 3 ggr större än de som erhö lls vid försöken medan de horisontella rörelser na stämde överens vad beträffar försöken utan väv.

Av de resultat som presenteras här och de slutsatser som kan dras finns det anledning att tro att

- den odränerade horisontalrörelsen och vertikalrörelsen minskar respektive blir jämnare av en väv inlagd i underkant vägbank på lös undergrund
- en väv inlagd under en vägbank på lös undergrund har positiv inverkan på bärigheten

- det finns för varje tillfälle en övre gräns för armeringens töjmodul över vilken väven ej fullt utnyttjas.

De utförda försöken anser jag motivera fortsatt forskning angående vävgrundlagda vägbankar på lös jord.

### 3 SYFTE OCH BAKGRUND

Syftet med detta projekt har varit att försöka få klarhet i om polyesterväv inlagd under en vägbank har någon effekt, och i så fall vilken. Resultatet från de utförda försöken skulle om möjligt även ligga till grund för utformandet av en metod att bestämma erforderlig armeringsmängd och kvalitet.

Tidigare användes både för byggande av vägar och hus rustbädd av t ex ris och kvistar eller stockar. Under senare tid har vid byggande av vägar moderna material, bl a stålstänger, armeringsnät, polyesterväv eller fibrer, använts på liknande sätt. Även andra metoder finns i dag för att förbättra markens bärförmåga och därmed minska och omfördela sättningarna för en vägbank. Urgrävning och återfyllning, nedpressning, utläggande av tryckbankar är några sådana metoder. Andra åtgärder är att göra vägbanken lättare genom att använda lätt fyllning eller föra ned lasten till bärkraftigare jord med hjälp av pålar.

Polyesterväven används till övervägande del i dag som filter eller för separering av massor. Det råder nämligen olika uppfattningar om den inverkan en sådan väv, inlagd under en vägbank på lös undergrund, har på bärigheten och därmed även på sättningarna. Vidare råder delade meningar om hur en sådan bank beräkningsmässigt skall betraktas.

Vissa försök med vävgrundlagda vägbankar har redan utförts och resultatet har i huvudsak varit positivt.

Något fullständigt försök med klarläggande av samverkan mellan väv och jord vid belastningar upp till brott har emellertid ej utförts.

Projektet har bestått av modellförsök med vävgrundlagd vägbank på lös undergrund som utförts på Statens geotekniska institut (SGI) i Linköping. Vid dessa försök har speciellt undergrundens beteende studerats vid inläggande av väv under banken. Vidare har en litteraturstudie utförts av framför allt ett annat modellförsök av en vävgrundlagd vägbank initierat och bekostat av Imperial Chemical Industries Ltd (ICI) och utfört på University of Strathclyde i Glasgow. Vid dessa försök har en studie gjorts av hur bankfyllningen (överbyggnaden) påverkas av väven.

Resultaten av modellförsöket utfört på SGI och en jämförelse med resultaten av ICI:s modellförsök redovisas i denna rapport.

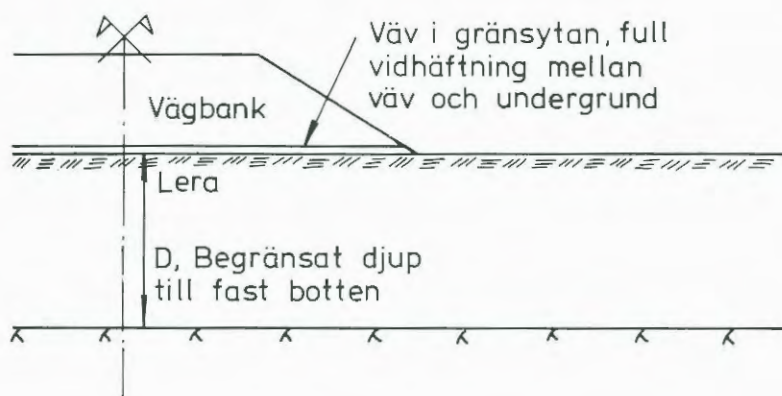
Projektet har finansierats med bidrag från STU och med egna medel.

#### 4 BESKRIVNING AV FÖRSÖKEN

Utformningen och utförandet av SGI:s och ICI:s modellförsök beskrivs kortfattat i detta kapitel. För mer detaljerad beskrivning och ytterligare data hänvisas angående SGI:s försök till Arbetsrapporten (SGI varia 27:1980), där bl a den teoretiska analys som legat till grund för försöket finns redovisad. Vad beträffar ICI:s försök hänvisas till "The behaviour of model granular embankments with and without fabric inclusions", M Mashhour, University of Strathclyde, Glasgow 1979.

#### 4.1 SGI:s modellförsök

Avsikten med försöket var att det skulle utföras som en modell av en vägbank på lös lera med begränsat djup. Då hypotesen för försöken var att väven endast hade en marginell effekt var intentionen att utföra försöken på enklast möjligaste sätt.



*Fig 1. Principfigur visande den aktuella banken.*

*Figure showing the principle of the actual embankment.*

Försöket valdes att utföras som en serie identiska försök där styvheten hos väven under vägbanken varierades. Avsikten var att vid försöken endast mäta rörelserna i ett plan och att försöka observera brottbildningen i undergrunden. Att försöka mäta töjningar och spänningar i modellen, vilket varit önskvärt, skulle ha fördröjat projektet samt dessutom ej låtit sig göras på ett enkelt sätt.

Skalan hos modellen valdes till ca 1:20 med avseende på skjuvhållfastheten hos modellmaterialet för leran samt med avseende på töjmodulen hos väven. Som modellmaterial för den lösa leran användes en blandning av vatten och ca 13 viktprocent bentonit. Bentoniten var granulerad och av märket Vol Clay SLS-71. Skjuvhållfastheten hos blandningen var ca 0,5 kPa mätt med SGI:s

laboratorievingsborr. Vid mätningarna användes en vinge med höjden 0,06 m och diametern 0,03 m. Nackdelen med bentonitblandningen var den stora deformationen vid brott, ungefär dubbelt så stor som den som kan antas för verklig lera. Vad som emellertid talade för materialet var bl a att det på ett relativt enkelt sätt gick att reproducera med samma egenskaper.

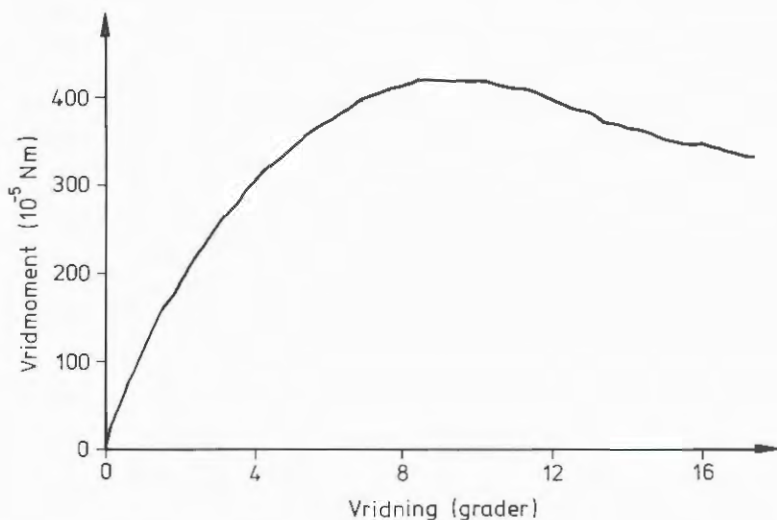


Fig 2. Kurva erhållen från SGI:s laboratorievingsborr, visande sambandet mellan vingens vridmoment och vridning, ur vilken skjvuhållfastheten beräknats.

*Curve obtained from the SGI laboratory vane test apparatus, showing the relationship between the torque and the rotation of the vane. The shear strength has been calculated from this curve.*

Modellmaterialet för banken utgjordes av silversand, som med den valda packningsgraden hade densiteten  $1,6 \text{ t/m}^3$ . Ett av motiven att välja detta material var att få viss tjocklek på skikten vid uppfyllnaden av banken, se nedan. Det skulle eventuellt varit bättre med ett tyngre material så att släntens längd hos banken blivit mindre.

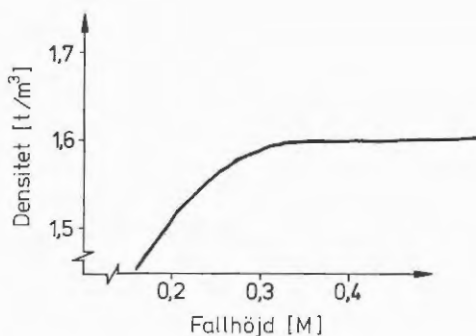


Fig 3. Samband mellan fallhöjd och densitet hos det valda modellmaterialet för banken.

Curve showing the relationship between the vertical drop and the density of the model material for the embankment.

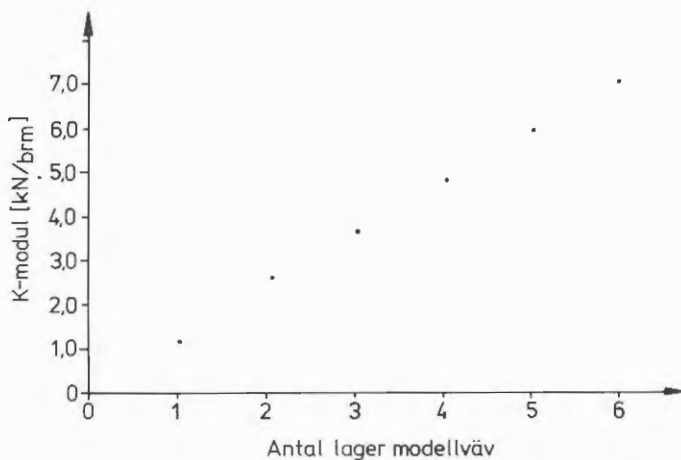
Som modellmaterial för väven valdes en 0,5 mm tjock gummiduk vars tøjmodul (K), förhållande mellan kraft och tøjning, var ca 1,2 kN/brm i det aktuella tøjningsområdet. Styvheten hos "väven" varierades genom att variera antal lager gummiduk vid försöken. Mätningarna av tøjmodulen hos modellmaterialet har härvid utförts enligt metoden "grab tensile test", se ICI:s broschyr "Att konstruera med Terram". Vid utvärderingen av tøjmodulen har beräkningen utförts för 25 mm bredd.

Försöken utfördes i en plexiglaslåda med längden 1,5 m, bredden 0,5 m och höjden 1,2 m. Dessa mått valdes med tanke på att modellen skulle vara någorlunda lätthanterlig.

Med hänsyn till de valda måtten och modellmaterialens egenskaper utformades sedan modellen så att den endast bestod av en bankhalva mot ena gavelväggen i försöklådan.

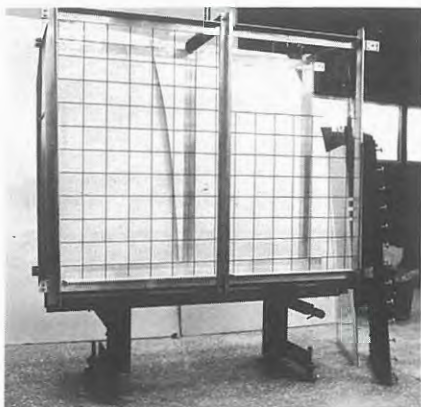
För att modellen skulle fungera fästes väven in i gavelväggen på sådant sätt att den kunde följa med de sättningar som inträffade under banken.





*Fig 4. Samband mellan antal lager modellväv och t jmodulen K m tt med grab tensile test. Beräknad för bredden 25 mm.*

*Picture showing the relationship between the number of layers of rubber membrane and the modulus in tension K obtained from the grab tensile test. The modulus in tension has been calculated for a width of 25 mm.*



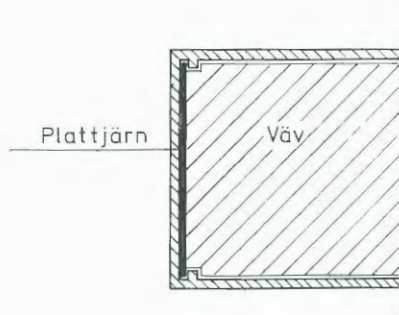
*Bild 1 och 2. L da i vilken försöken utfördes.*

*The box in which the tests were carried out.*



*Bild 3. Modellen med bankhalvan uppbyggd i försöklådan.*

*The model with the half embankment in the test box.*



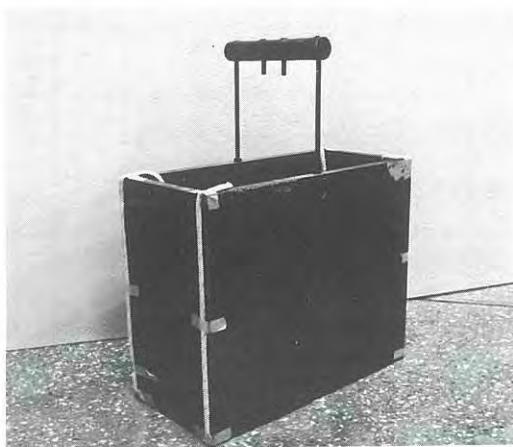
*Fig 5. Principfigur över "vävens" infästning vid modellförsöken.*

*Figure showing the principle for attaching fabrics during the tests.*

Måtten på försöklådan valdes så att en eventuell glidyta skulle slå upp i banken samt ej påverkas av den motstående gavelväggen. Ett stort problem vid modellförsök av detta slag är friktionen mot väggarna. Åtgärder vidtogs för att minska denna för undergrunden (bentoniten) men för banken vidtogs inga åtgärder. De åtgärder som här stod till buds var dels besvärliga att utföra och enligt de undersökningar som bl a ICI utfört reducerade de ej nämnvärt friktionen.

För att kunna studera rörelserna i undergrunden samt eventuella brottbilder försågs bentonitblandningen med färgade vertikala sandpelare närmast glaset. Som referens användes ett rutnät på glaset, se Bild 3. Önskvärt hade varit att kunna göra en mer detaljerad studie av rörelserna i väven.

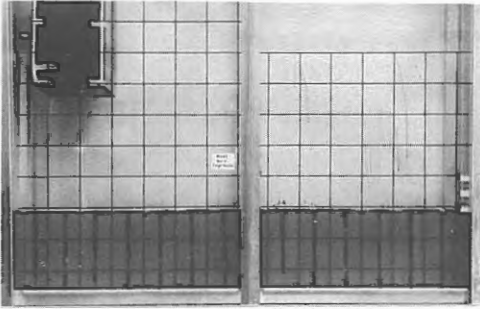
Försöken tillgick så att bentonitblandningen (ny till varje försök) fylldes i försöklådan och tilläts växa i hållfasthet några dygn. Därefter installerades sandpelarna och väven lades på plats. Banken fylldes upp stegvis i tunna skikt med konstant fallhöjd. Tidsintervallet mellan laststegen var i storleksordningen 5 min. Uppfyllnaden skedde med en låda som hade en perforerad botten och som fyllde ut hela krönet på en gång.



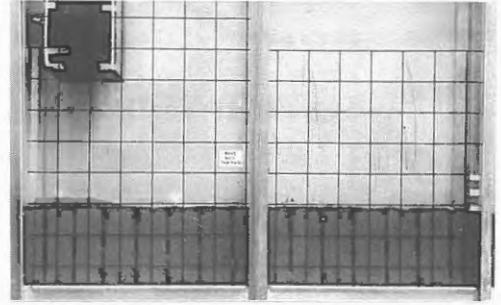
*Bild 4. Låda för uppfyllnad av banken vid försöken.*

*The box with which the bank was constructed for the tests.*

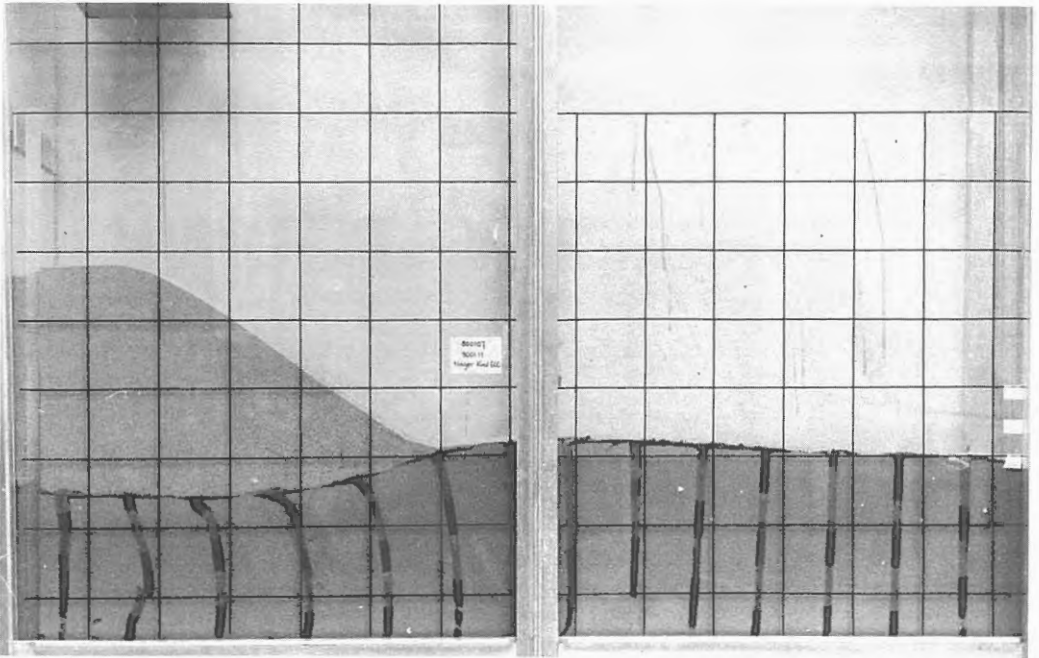
Krönbredden hölls konstant under uppfyllnaden under det att släntfoten förflyttades med ökande bankhöjd. Uppfyllningen pågick till dess att brott erhöles i undergrunden. För att underlätta utvärderingen togs ett fotografi mellan varje laststeg under hela försökets gång.



UTGÅNGSLÄGE



LASTSTEG 1



LASTSTEG 18

*Bild 5. Försöksutförande. Stegvis uppfyllnad av banken tills dess att brott erhöles i undergrunden.*

*Model test. The embankment was built up step by step until failure occurred in the subsoil.*

Fotografierna användes även för att studera förloppet i stereo. Med hjälp av stereobetraktelsen kunde rörelserna i vertikal- och horisontalled mätas och ett rörelsemönster konstrueras, dels för rörelsen för varje laststeg, dels för totalrörelsen.

Som en utvidgning av dessa försök gjordes även ett försök med att studera modellen med finit elementmetod. Det FEM-program som användes var ursprungligen avsett för analys av plana och rotationssymmetriska elasto-plastiska strukturer. Som flytvillkor arbetade programmet med von Mises flythypotes, vilket torde stämma ganska väl med brottet hos bentoniten vid en c-analys.

#### 4.2 ICI:s modellförsök

Avsikten med ICI:s försök var att studera en vägbank på lös undergrund. Till skillnad från SGI:s försök studerades rörelserna i bankfyllningen.

Försöket bestod av en serie identiska försök. Mellan de olika försöken varierades såväl antalet lager väv i banken som placeringen av väven. I varje vävskikt lades endast ett lager väv. Vidare gjordes försök då väven vinklades upp under slänten, se Figur 6. Vid försöken studerades endast bankens rörelser i ett plan och några belastningar upp till brott utfördes ej.

Som modellmaterial för bank och väv kunde, med den skala på modellen som valts, användas samma material som i verkligheten. Bankmaterialet var Leighton-Buzzard-sand och som modellmaterial för väven valdes en av ICI:s non woven produkter, typ Terram.

Undergrunden utgjordes i modellen av skumgummi vars egenskaper bestämdes noga, Youngs modul befanns härvid vara 655 kPa. Valet av skumgummi som undergrund hade två skäl. Dels var det enklare att åstadkomma samma undergrund vid de upprepade försöken, dels undveks tidsberoendet, dvs krypningen.

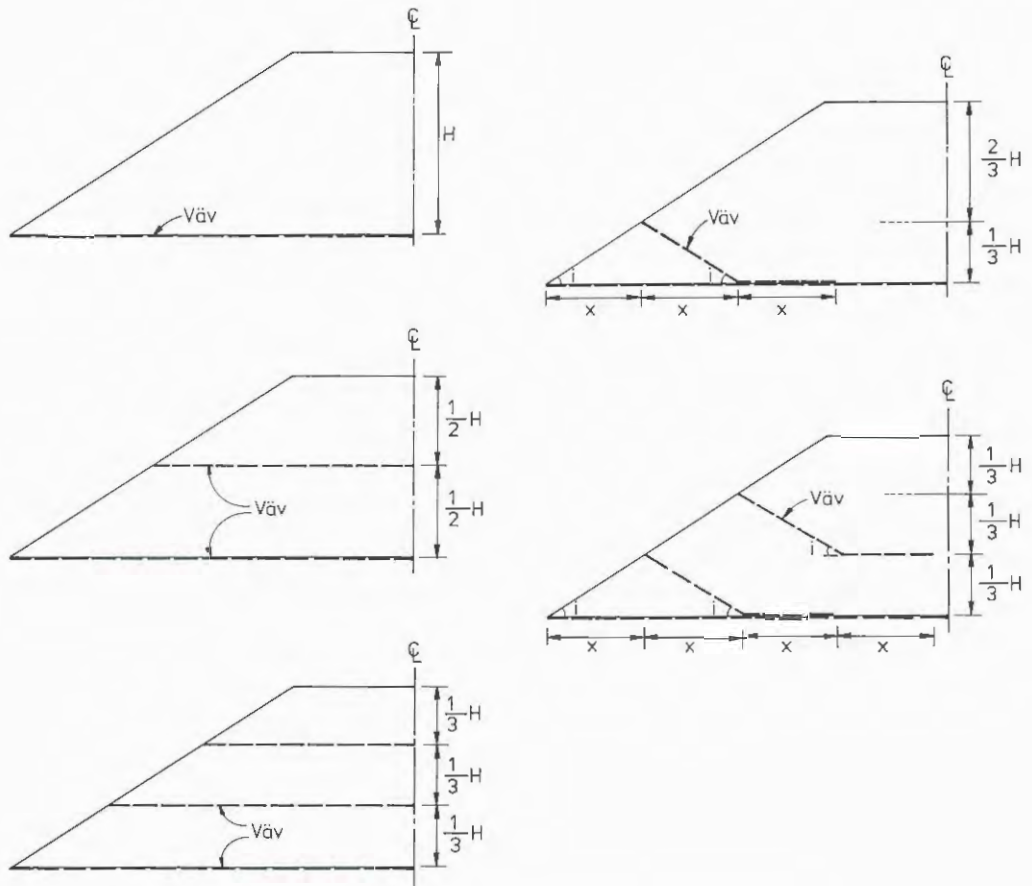


Fig 6. Vävens alternativa placeringar vid försöken.

The alternative locations of the fabrics in the embankment.

Försöken utfördes i en glaslåda bestående av en högdel och som en förlängning av denna, en lågdell. Totala längden på lådan var 3,8 m. Högdelen hade en höjd av ca 1,2 m. Tjockleken hos undergrunden valdes i modellen till 0,30 m.

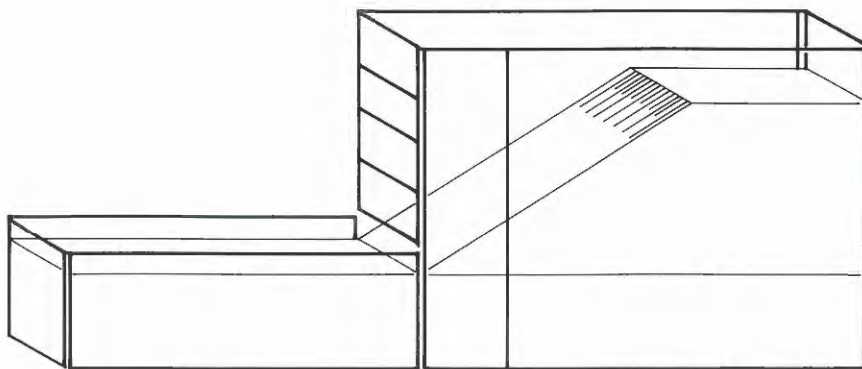


Fig 7. Principfigur visande lådan försöken utfördes i.

Figure showing the principle of the box in which the tests were carried out.

Av utrymmesskäl utformades modellen så att den endast bestod av en bankhalva utfylld mot gavelväggen i högdelen. För att modellen skulle fungera fästes väven i gavelväggen på sådant sätt att den kunde följa med sättningarna. Några åtgärder för att minska friktionen mellan banken och glasväggen vidtogs ej, då de tänkbara metoder som undersöktes ej gav nämnvärd effekt.

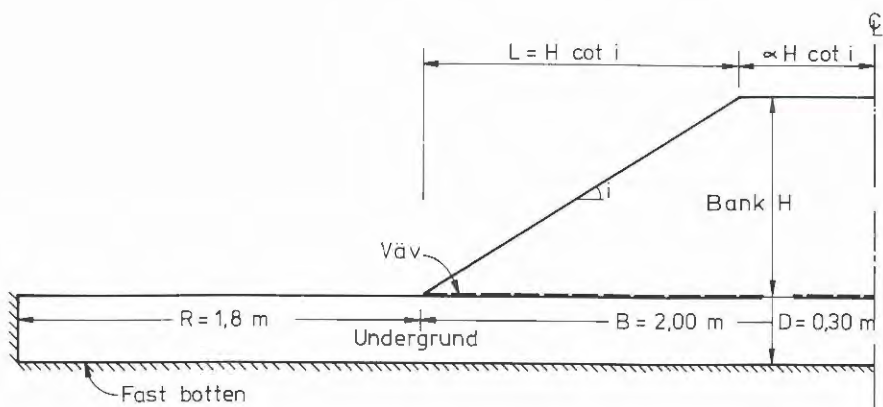


Fig 8. Principfigur visande modellen.

Figure showing the principle of the model.

Försöken tillgick så att sedan undergrunden placerats ut i hela lådans längd installerades väven. Banken fylldes därefter upp successivt, i tre etapper till 0,3 m, 0,6 m och 0,9 m höjd. Utfyllnaden av banken tillgick så att en vagn med en reglerbar springa, genom vilken sanden strilade, vandrade fram och tillbaka över banken. Allteftersom fallhöjden för sandridån minskade kunde intensiteten hos sandridån varieras så att samma packningsgrad erhöles i hela banken. Vid denna uppfyllnad av banken hölls hela tiden släntfoten i låst läge vilket medförde att krönbredden minskade allteftersom bankhöjden ökade.

Under den etappvisa uppfyllnaden togs fotografier. Dessa fotografier utvärderades sedan med hjälp av stereobetraktelse och analogt med SGI:s försök erhöles ett rörelsemönster, men i dessa försök för bankfyllningen. Då de materiella storheterna i försöken var kända räknades utgående från de mätta rörelserna, med hjälp av dator de aktuella spänningarna och töjningarna fram.

#### 4.3 Skillnader i modellförsökens utformning

Ovan beskrivna försök har på två olika sätt försökt ge svar på samma fråga. De väsentliga skillnaderna mellan försöken är att vid ICI:s försök har använts en konstgjord undergrund av skumgummi medan SGI har använt ett kohesionärt modellmaterial. Skillnaden i skala mellan modellerna är stor. Vidare varierar förhållandet mellan undergrundens djup och bankhöjden för SGI:s försök mellan 1,0 och 1,8 vid "brott" medan det för ICI:s försök varierar mellan 0,33 till 1,0. ICI:s försök gäller dock ej "brottstadiet".



Vad beträffar utfyllnaden av banken så har den gjorts på två helt skilda sätt. Vid SGI:s försök hölls släntkrönet låst medan i ICI:s försök släntfoten hölls låst. Vidare skedde uppfyllnaden vid SGI:s försök etappvis till brott i undergrunden. Uppfyllnaden vid ICI:s försök skedde etappvis till tre i förhand bestämda bankhöjder utan att brott erhöles i undergrunden.

Vävens placering skilde sig även något åt mellan de två försöken. Vid SGI:s försök utfördes försöken endast med väven placerad i underkant bank medan ICI även undersökte effekten av väv placerad uppe i banken.

## 5 RESULTAT

I detta kapitel skall de resultat som framkommit vid SGI:s försök presenteras. Dessutom redovisas vissa av de resultat som presenteras i ICI:s rapport. I första hand behandlas rörelsemönstret i bankens underkant vid ICI-försöken eftersom dessa kan jämföras med de som erhållits i SGI:s försök.

### 5.1 SGI:s modellförsök

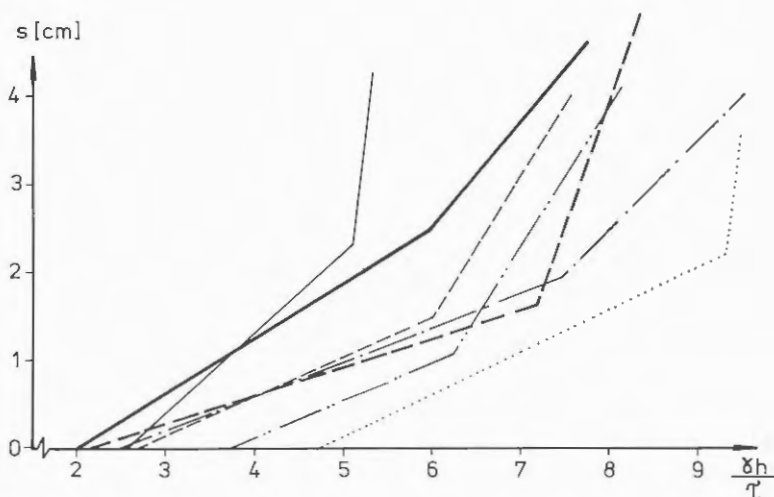
Försöken bestod av en serie identiska delförsök. Ett försök utfördes utan någon "väv" under banken och 6 utfördes med "väv" med olika styvhet, varav ett utfördes med AB Fodervävnaders väv kvalitet 600 vilken är den väv som till stor del i dag används vid vägbyggnad. Skillnaden i styvhet hos modellmaterialet för väven i de olika försöken redovisas som tøjmodul i tabell nedan. Tøjmodulen är mätt enligt metoden "grab tensile test" som förhållandet mellan kraft och tøjning inom aktuellt tøjningsområde, vilket för den valda undergrunden ligger vid ca 3%.

Försök	Töjmodul, K, kN/brm
utan "väv"	
1 lager modellväv	1,2
3 lager modellväv	3,7
4 lager modellväv	4,8
6 lager modellväv	6,9
6 lager modellväv	6,9
1 lager AB Fodervävnaders väv kval 600	ca 400

Generellt kan sägas att vid användning av "väv" under banken erfordras en högre bank för att brott skulle inträffa i undergrunden jämfört med en bank utan "väv". Upplastningen av banken skedde stegvis till dess att brott uppstod i undergrunden och på ett sådant sätt att bankkrönet hela tiden hölls konstant under det att släntfoten förflyttade sig med ökande bankhöjd.

Vid utvärderingen av försöken plottades för varje laststeg förhållandet mellan sättningarnas storlek i en specifik punkt och pålagd last dividerad med skjuvhållfastheten hos bentoniten. För varje försök erhöles därvid en kurva som visade sig ha en skarp "knyck" efter vilken sättningarna accelererade. Lasten som motsvarade "knycken" på kurvan definierades som försökets "brottlast".

Vidare utvärderades från de fotografier som togs kontinuerligt under försöken en "brottlast" vid vilken en glidyta helt eller delvis utbildats i den aktiva zonen under vägbanken. Denna "brottlast" visade sig vid jämförelse vara av samma storlek som "brottlasten" utvärderad ur kurvorna.



Försök nr 1	utan "väv"	—————
Försök nr 2	1 lager modellväv	—————
Försök nr 3	3 lager modellväv	- - - - -
Försök nr 4	4 lager modellväv	- · - · -
Försök nr 5	6 lager modellväv	—————
Försök nr 6	6 lager modellväv	- - - - -
Försök nr 7	1 lager AB Foderväv- naders väv kval 600	·····

Fig 9. Samband mellan sättningen hos en specifik punkt under banken och  $\frac{\delta h}{\tau}$  för de olika försöken.

The relationship between the vertical deformation at a specific point under the embankment and  $\frac{\delta h}{\tau}$  for the different tests.

För att få en normerad jämförelsestorhet mellan de olika försöken beräknades  $N_C = F_C \frac{q_e}{C}$ . De erhållna "brottlasterna" omräknades härvid till ekvivalenta stavlaster, se Figur 10. Säkerhetsfaktorn  $F_C$  antogs = 1,0 och skjuvhållfastheten var den uppmätta. Värdena framgår av nedanstående tabell, där  $h_e$  är den ekvivalenta stavlastens höjd.

Försök	$N_C$	$h_e$ (för $\tau = 0,5$ kPa) (m)
utan "väv"	3,25	0,10
1 lager modellväv	3,89	0,12
3 lager modellväv	3,80	0,12
4 lager modellväv	4,45	0,14
6 lager modellväv	4,29	0,13
6 lager modellväv	4,58	0,14
1 lager AB Foderväv- naders väv kval 600	5,51	0,17

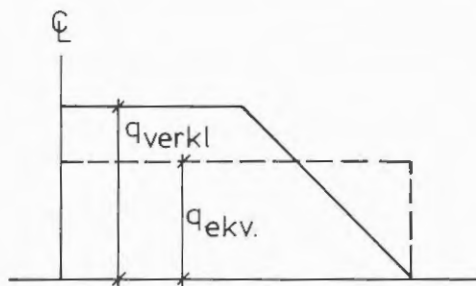


Fig 10. Principfigur visande sambandet mellan verklig banklast och ekvivalent stavlast.

Figure showing the principle of the relationship between the actual embankment load and the equivalent vertical load without internal friction.

Någon hänsyn har vid beräkningarna ej tagits till upphängning längs försökslådans väggar.

Enligt konventionella betraktelser skall  $N_C$ -värdet för fallet utan armering jämföras med  $N_C = 5,14-5,71$ . En orsak till att  $N_C$ -faktorn vid försöken är lägre kan vara att vid modellförsöken har skjuvhållfastheten antagits fullt utnyttjad längs hela glidyta. Då det för den i beräkningen använda bankhöjden bl a beroende på bentonitblandningens stora deformation vid brott endast utbildats en glidyta på den aktiva sidan kan det vara tveksamt om  $\tau$  skall antas lika med  $\tau_{\text{brott}}$  längs hela glidyta. Sannolikt bör ett lägre värde användas. Flera tänkbara förklaringar till de erhållna  $N_C$ -faktorernas storlek diskuteras i kapitel 6.

I Figur 11 visas förhållandet mellan "brottlasten" dividerad med bentonitens skjuvhållfasthet och tøjmodulen hos den vid försöket använda väven. Brottlasten har i diagrammet reducerats för upphängning av banken längs sidorna i försökslådan. Kurvan visar att det finns en övre gräns för vävens tøjmodul över vilken den ej utnyttjas fullt.

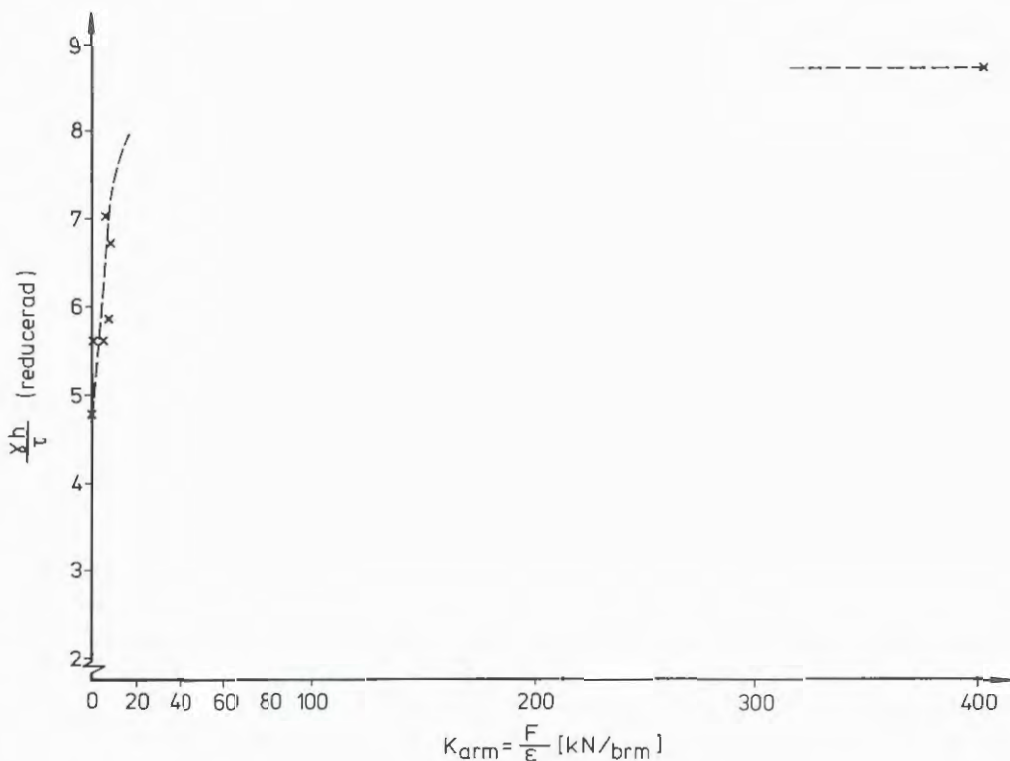


Fig 11. Samband mellan den inlagda "vävens" tøjmodul och  $\frac{\gamma h}{\tau}$  för de olika försöken. Tøjmodulen har bestämts enligt metoden grab tensile test och beräknats på bredden 25 mm.

Curve showing the relationship between the modulus in tension, for the layers of rubber membrane used and fabrics, and  $\frac{\gamma h}{\tau}$  for the different tests. The modulus in tension is determined by the grab tensile method and calculated for a width of 25 mm.

Vid försöken utan väv, med tre och sex lager modellväv, samt vid försöket med 1 lager AB Fodervävnaders väv kval 600 fortsatte uppfyllnaden av banken sedan glidytan i den aktiva zonen utbildats. Efter ytterligare pålastning utbildades även glidytan i den passiva zonen. Denna glidyta var ej helt cirkulär utan gick till en del längs botten i försökslådan. De erhållna glidyterna hade vidare en tendens till att flacka ut på den passiva sidan ju styvare väv som använts.

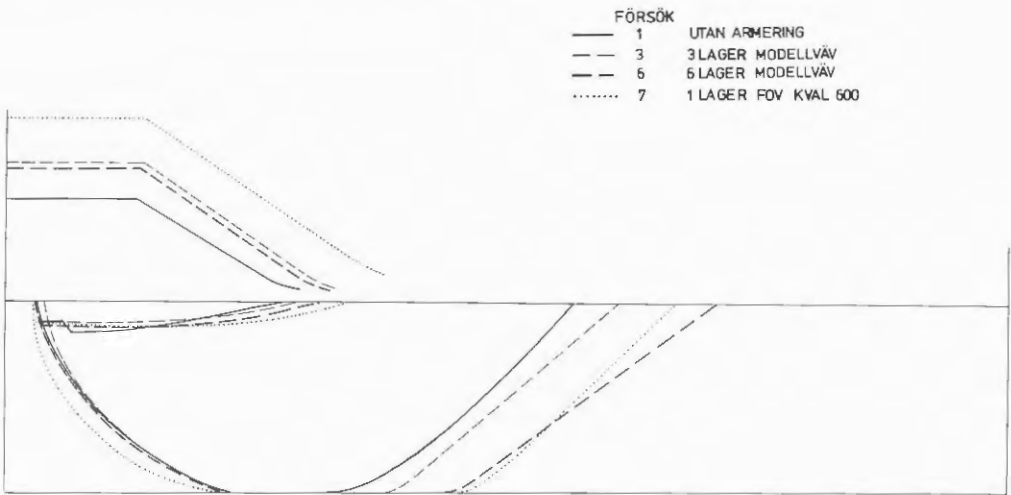
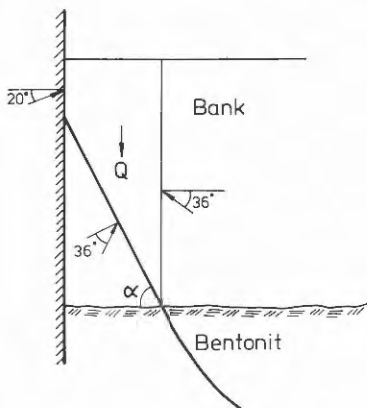


Fig 12. Erhållna glidytor vid olika antal lager modellväv.

*The slip surfaces obtained for different numbers of layers of rubber membranes and fabrics.*

Vid ett försök att beräkna de fullt utbildade brottglidyterna antogs ett pådrivande jordtryck i banken. Det antagna jordtrycket motsvarade  $p$  g a glidytns närhet till gavelväggen i stort sett silojordtryck. Vidare antogs en viss upphängning av banken längs väggarna i försökslådan. Någon hänsyn till den inlagda väven togs ej utan alla glidyterna räknades på samma sätt.



Problemet löstes i två steg med grafisk metod. Det visade sig att det maximala horisontella jordtrycket erhöles för vinkeln  $\alpha \sim 45 + \frac{36}{2}$ , dvs vinkeln för aktivt jordtryck.

Fig 13. Principfigur för beräkning av det pådrivande jordtrycket.

Figure of the principle for calculation of the assumed pushing earth pressure in calculation of the slip surfaces obtained.

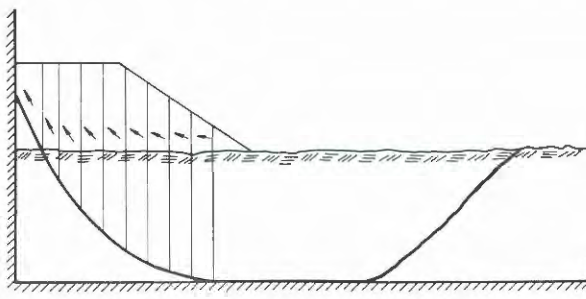


Fig 14. Friktionskraften mot lådväggarna, med dess antagna riktning i de olika lamellerna.

The friction along the box sides and the assumed directions of the forces in the different slices.

Nedan redovisas de erhållna säkerhetsfaktorerna  $F_C$ .

Försök	$F_C$
utan "väv"	1,13
3 lager modellväv	0,89
6 lager modellväv	0,86
1 lager AB Fodervävnaders väv kval 600	0,78

Den effekt den använda väven har är följaktligen det mothåll som behövs för att säkerheterna i alla försök skall ligga omkring 1,13. Ett försök att tillämpa den beräkningsmetod som tidigare använts vid projekteringen av några fullskaleprojekt, visade att den ej gav jämförbara resultat mellan de olika försöken. Denna beräkningsmetod innebar att vävens brottlast med pålagd säkerhetsfaktor räknades som en mothållande kraft i stabilitetsanalysen.

De fotografier som togs studerades i en stereokomparator och med hjälp av denna kunde rörelserna i modellen mätas till storlek och riktning med en noggrannhet av 100-dels mm.

Som resultat från utvärderingen i stereokomparatorn erhöles rörelsemönstret vid "brott" hos bentoniten vid de olika försöken. Dessa rörelser visade sig vara i stort sett desamma för alla försöken. Rörelserna omedelbart under banken blir emellertid mer vertikala ju styvare "väv" som läggs in. I Figur 15-22 visas rörelsemönstren för de olika försöken, som erhöles vid utvärderingen i stereokomparatorn. Dels visas rörelsemönstret för "brottlasten", dels rörelsemönstret för "brottlasten" dividerad med 1,5.

*Fig 15-22. Rörelsemönstret hos undergrunden vid brott och vid brottlasten dividerad med 1,5, erhållna vid studium i stereokomparator.*

*The displacement pattern in the subsoil at failure and at the failure load divided by 1.5. These patterns have been obtained from the study in the stereocomparator.*



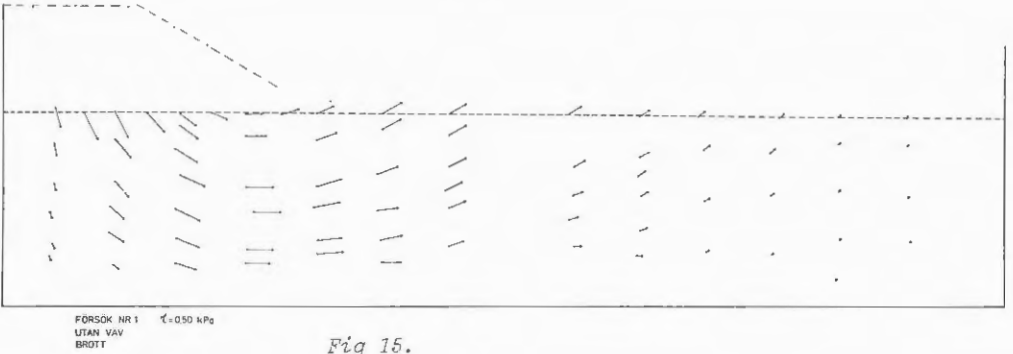
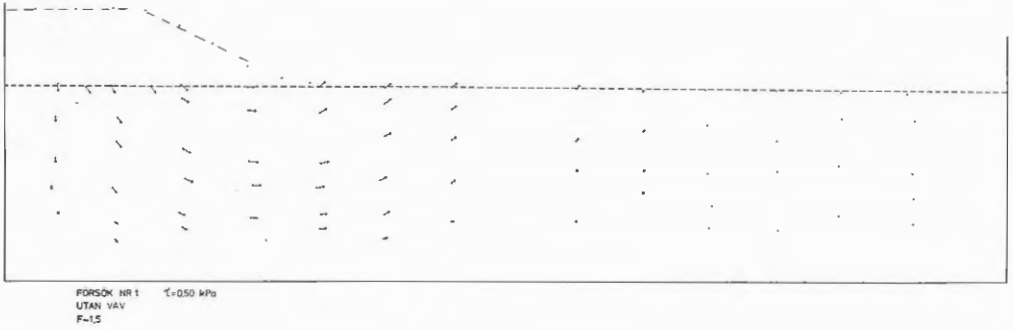


Fig 15.

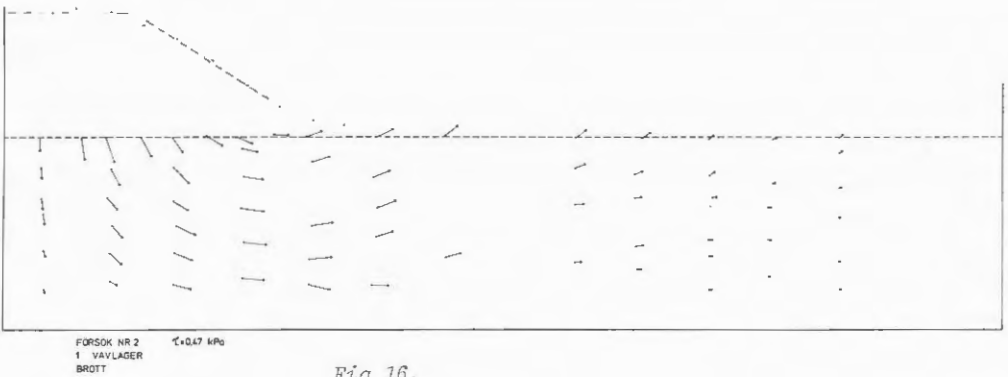
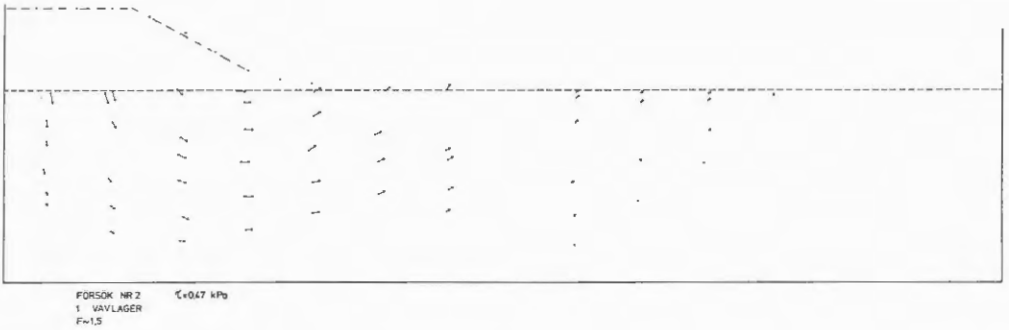
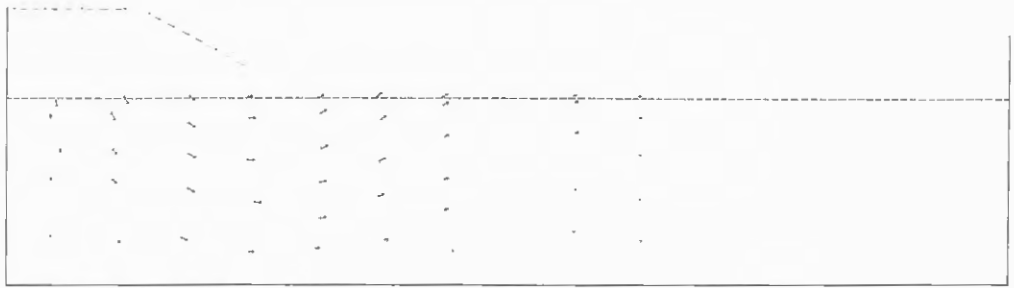
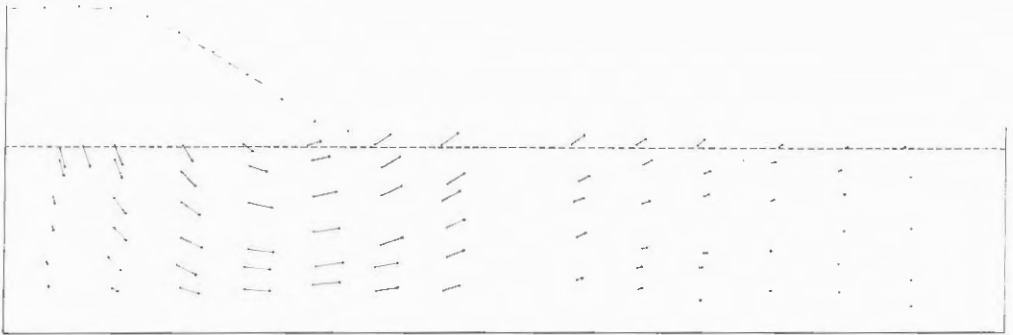


Fig 16.

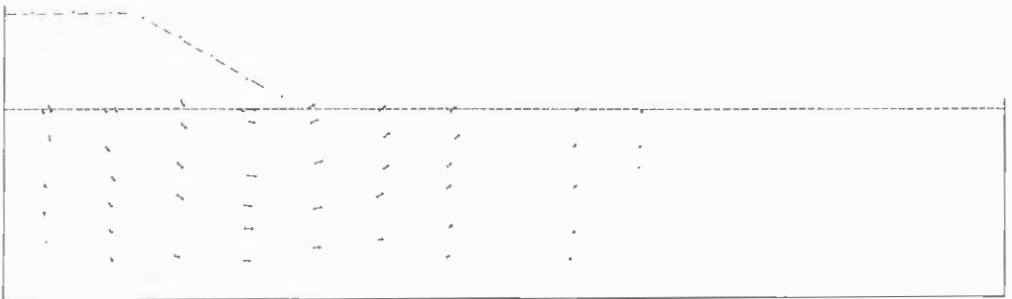


FORSØK NR 3  
3 VAVLAGER  
 $\tau = 0,47 \text{ kPa}$   
 $F = 1,5$

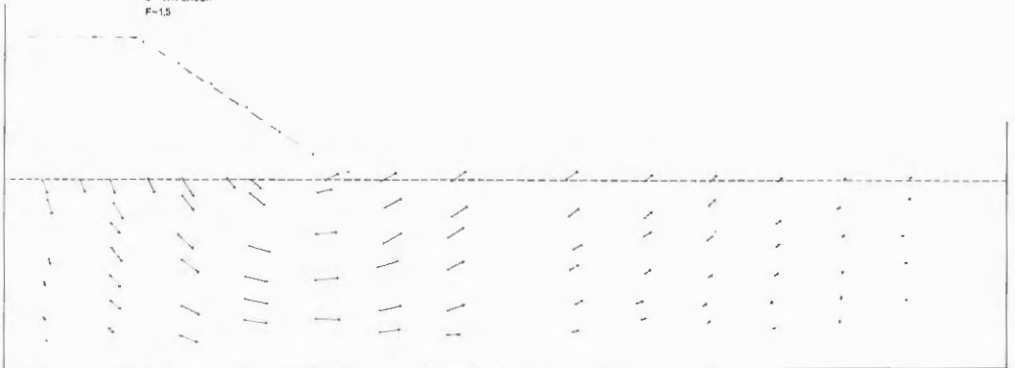


FORSØK NR 3  
3 VAVLAGER  
BROTT  
 $\tau = 0,47 \text{ kPa}$

Fig 17.

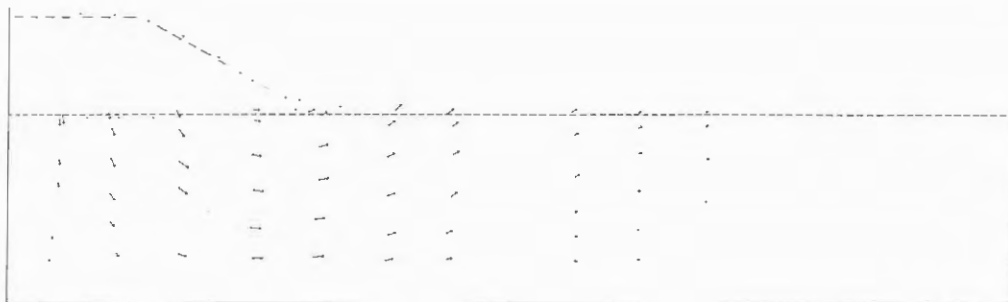


FORSØK NR 4  
4 VAVLAGER  
 $\tau = 0,45 \text{ kPa}$   
 $F = 1,5$

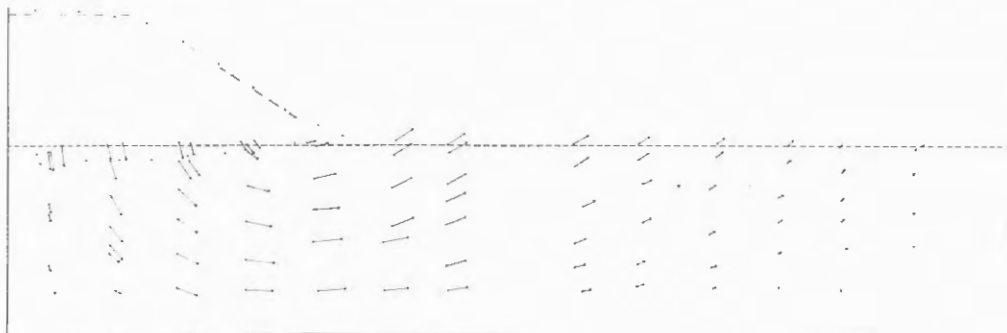


FORSØK NR 4  
4 VAVLAGER  
BROTT  
 $\tau = 0,45 \text{ kPa}$

Fig 18.

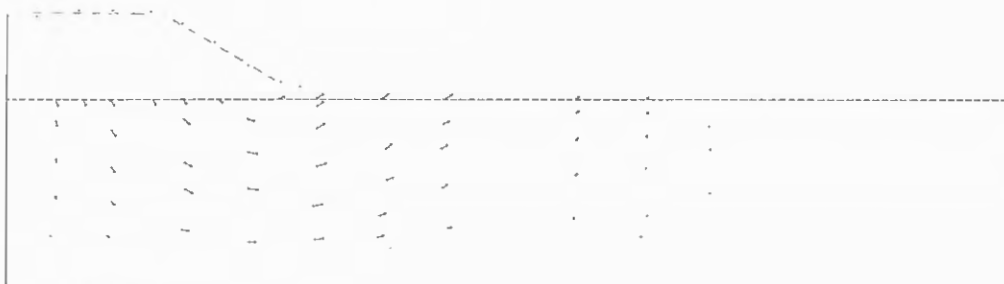


FORSOK NR 5  $\tau=0.43$  kPa  
6 VÄVLAGER  
F=15

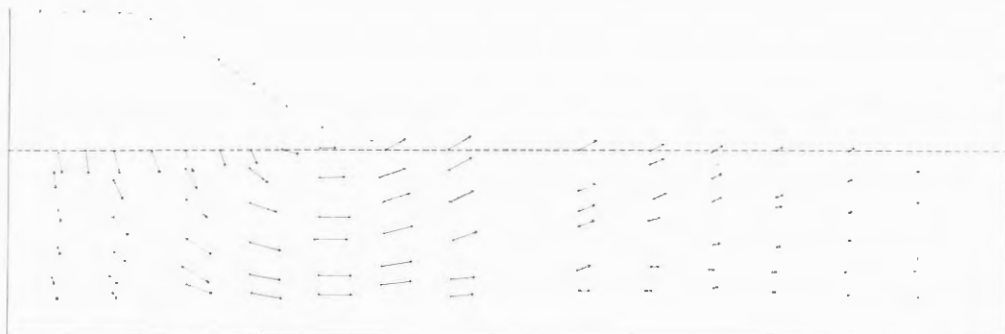


FORSOK NR 5  $\tau=0.43$  kPa  
6 VÄVLAGER  
BROTT

Fig 19.



FORSOK NR 6  $\tau=0.43$  kPa  
6 VÄVLAGER  
F=15



FORSOK NR 6  $\tau=0.43$  kPa  
6 VÄVLAGER  
BROTT

Fig 20.

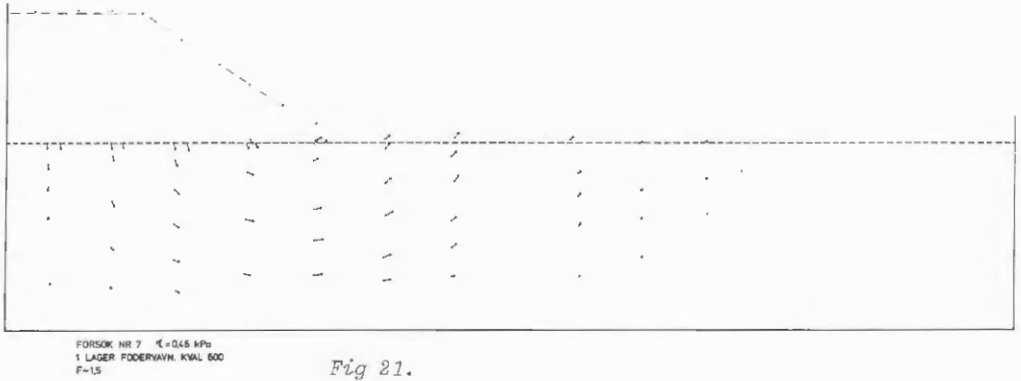


Fig 21.

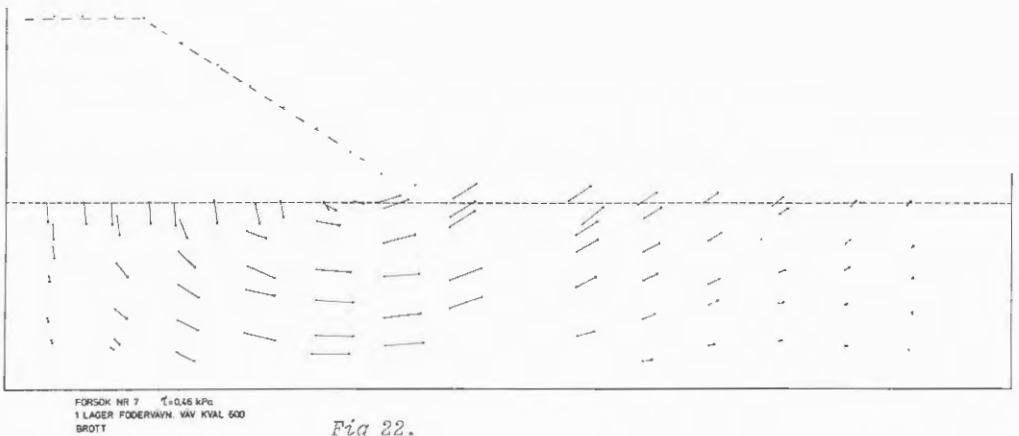


Fig 22.

Den totala rörelsen under banken kan delas upp i en horisontell del och en vertikal del. Av försöken framgår att den horisontella rörelsen minskar ju styvare väv som används. Vad beträffar den vertikala rörelsen finns en tendens till en utjämnning av sättningen på så sätt att den minskar mitt under banken medan den ökar litet under slänten. Den vertikala rörelsen är ungefär lika stor vid brott hos de olika försöken trots skillnaden i brottlast. Av Figur 23 och 24 framgår förändringen hos såväl den horisontella som den vertikala rörelsen vid några olika antal lager väv både för "brottlasten" och för brottlasten dividerad med 1,5.

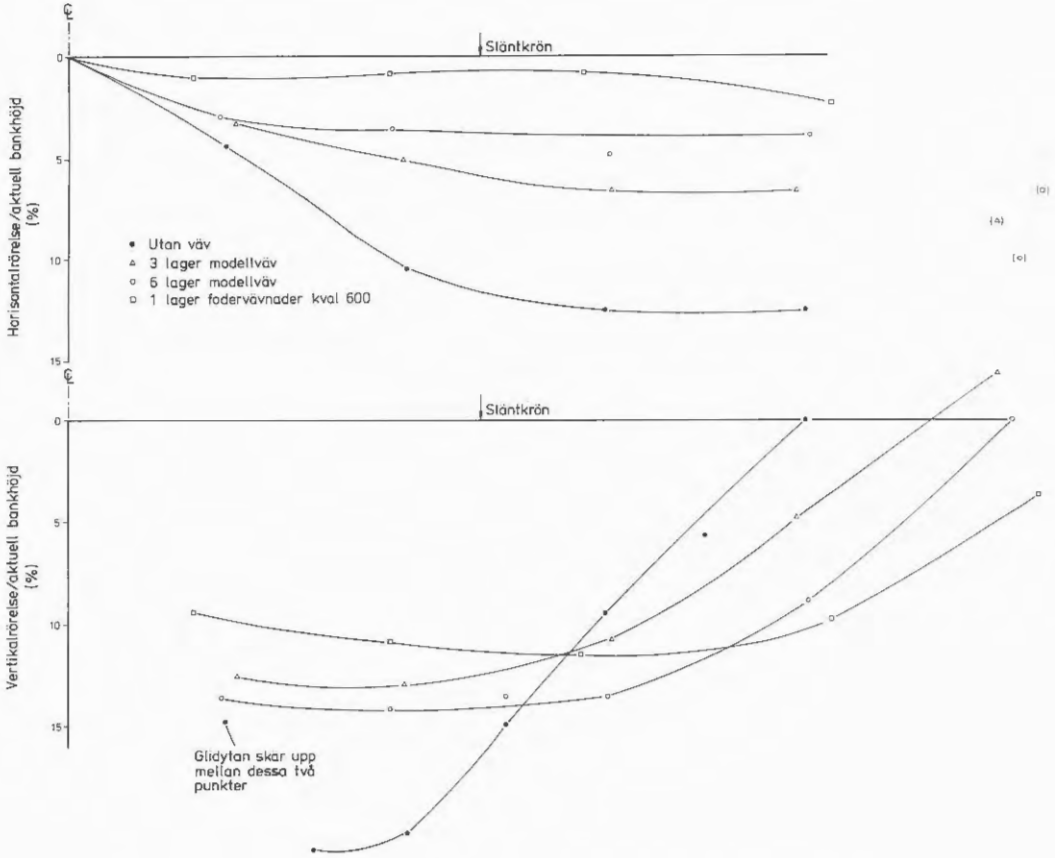


Fig 23. Horisontella och vertikala rörelser i underkant bank vid brott vid olika antal lager "väv".

Horizontal and vertical displacements at the embankment base at failure, for different numbers of layers of rubber membranes.

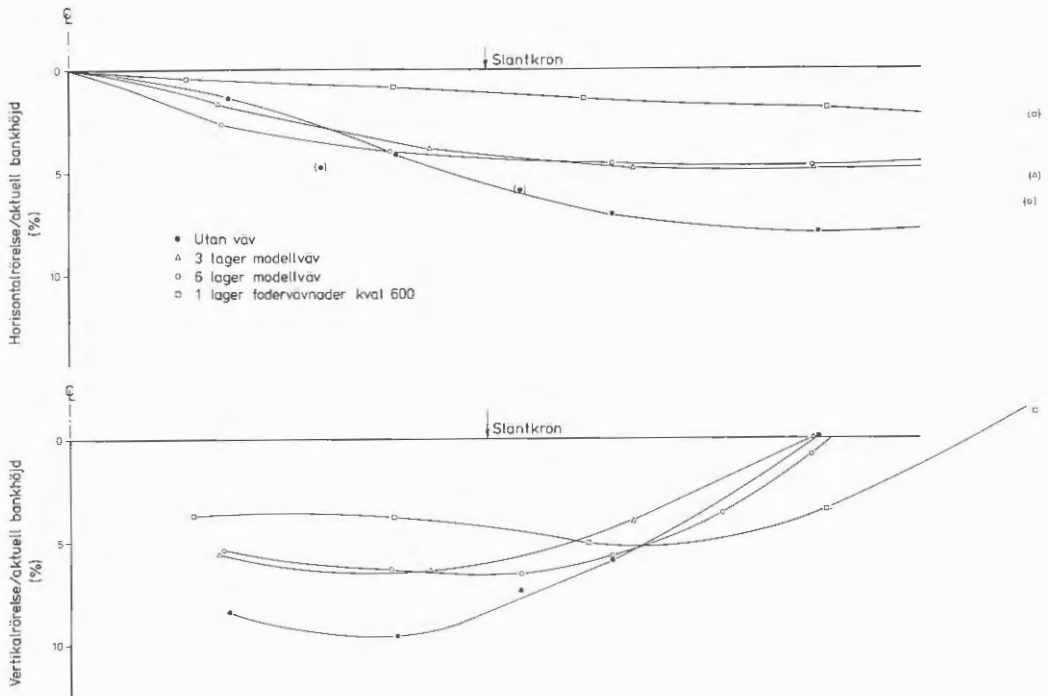


Fig 24. Horisontella och vertikala rörelser i underkant bank vid brottlasten dividerad med 1,5 vid olika antal lager väv.

Horizontal and vertical displacements at the embankment base at failure load divided by 1,5, for different numbers of layers of rubber membrane.

Vidare gjordes ett försök med att analysera modellen med finit elementmetod. Denna analys visade att flytzone som erhöles vid beräkningen stämde väl överens med glidytorerna i försöken. Flytningen i leran startade nere vid fasta botten vertikalt under slänten varifrån den successivt ökade på aktiva sidan. Därefter fortsatte flytningen på den passiva sidan. De horisontella rörelserna för analysen utan armering var av samma storleksordning som de vid modellförsöken. De vertikala rörelser vid brott som erhöles var emellertid upp till 3 ggr större än de som erhöles vid modellförsöken.

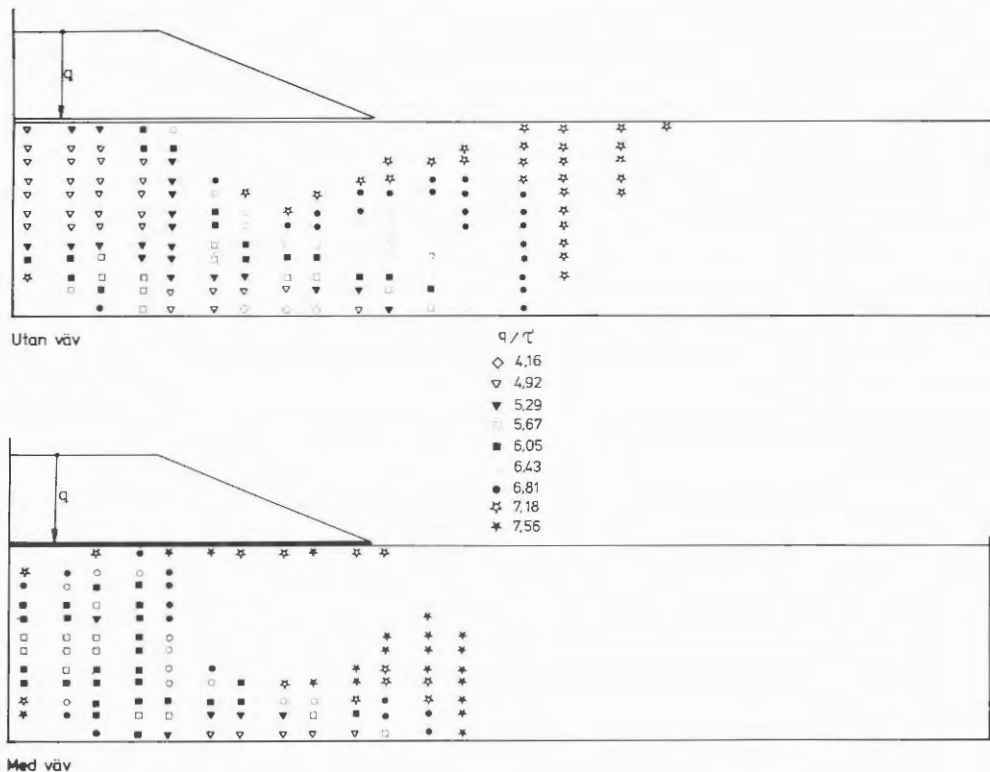


Fig 25. Skjuvzonens utbredning erhållen vid FEM-beräkning för olika laster, med och utan väv.

The shear zone obtained in finite element method calculation for different loads, with and without fabrics.

## 5.2 ICI:s modellförsök

I detta kapitel redovisas kortfattat delar av resultaten från rapporten över ICI:s försök. Bland annat har med utgångspunkt från de uppmätta rörelserna i banken spänningarna och töjningarna beräknats. Detta har skett med hjälp av god kännedom om materialparametrarna hos modellmaterialet och med hjälp av dator. De resultat som presenteras här är i första hand de som rör deformationerna i underkant bank. Det var också rörelsemönstren som var de primära resultaten av försöken då alla andra resultat är genererade med utgångspunkt från dessa. För att utvär-

dera försöken användes på samma sätt som i SGI:s försök stereotekniken. Utvärderingen skedde emellertid endast vid de förutbestämda bankhöjderna 0,3 m, 0,6 m och 0,9 m.

Resultaten av försöken visar att vid en bank utan väv är både de horisontella och vertikala rörelserna proportionella mot bankhöjden, dvs undergrunden fungerar elastiskt.

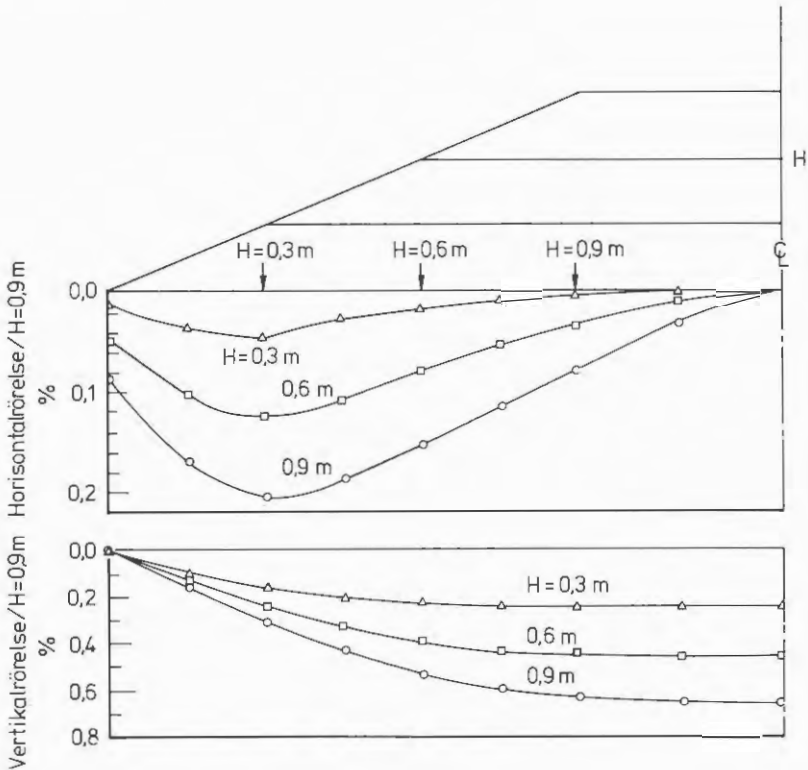


Fig 26. Mätta rörelser i underkant bank under uppfyllnaden av banken utan väv.

Measured displacements at the base of the embankment during construction without fabrics.



Bortses från effekten av att kvoten mellan bankhöjden och undergrundens djup minskar med ökande krönbredd så visar försöken att vid konstant bankhöjd minskar de horisontella rörelserna och de vertikala rörelserna ökar i underkant bank då krönbredden ökar. I Figur 27 och 28 visas de horisontella rörelsernas förändring med krönbredden dels för fallet utan väv, dels för fallet med ett lager väv.

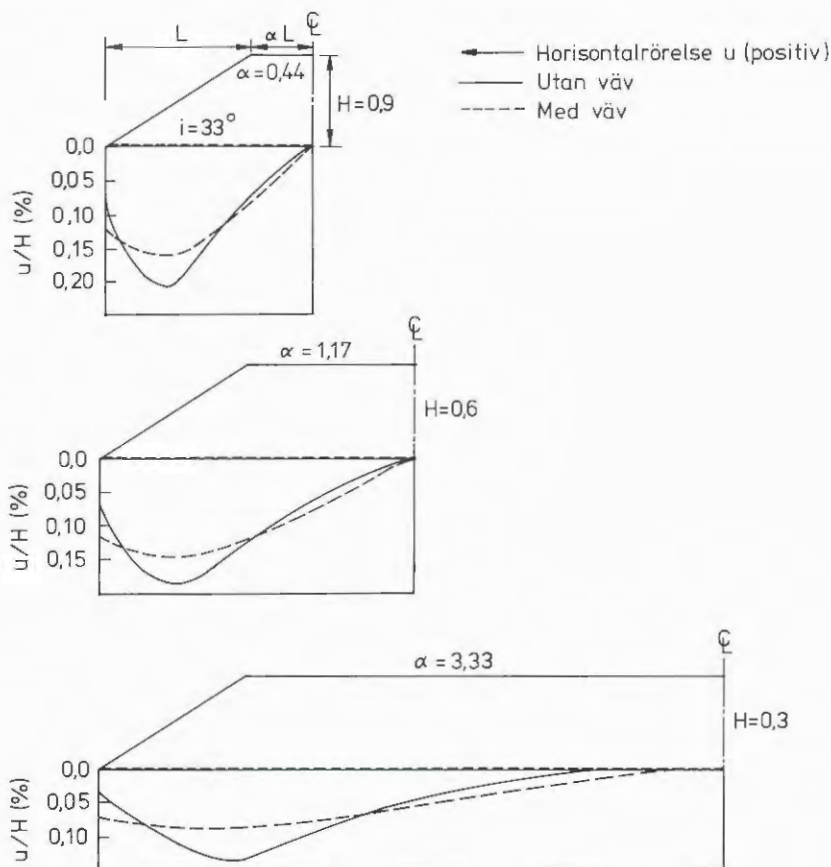


Fig 27. Effekten av bankens geometri på de horisontella rörelserna i underkant bank.

The effect of embankment geometry on the horizontal displacements at the base.

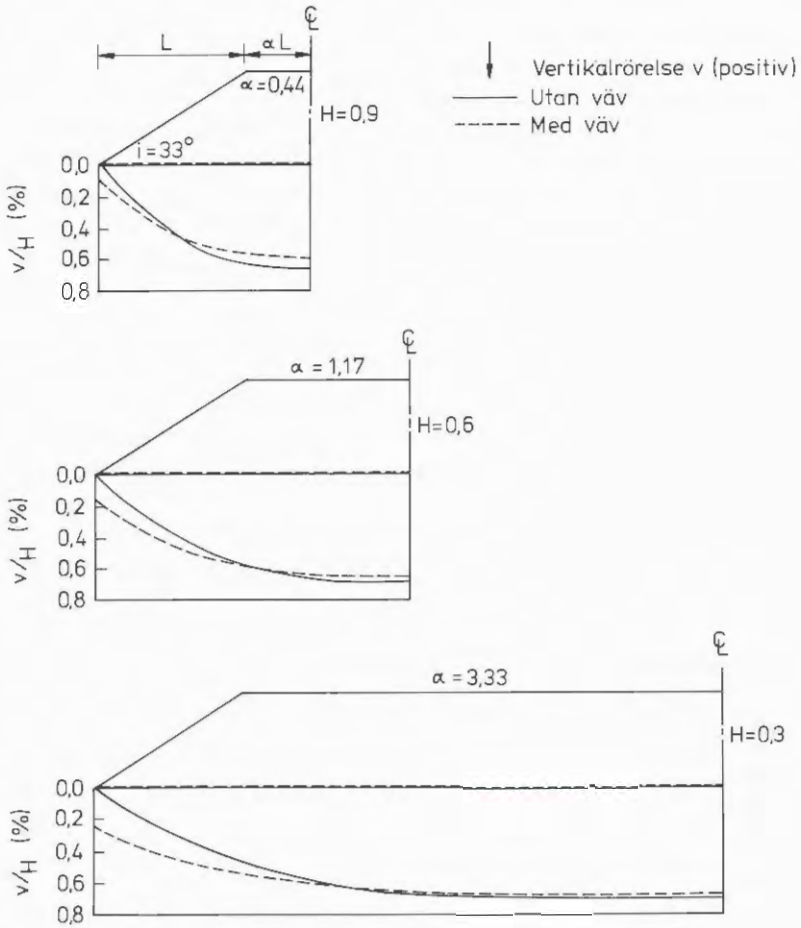


Fig 28. Effekten av bankens geometri på de vertikala rörelserna i underkant bank.

The effect of embankment geometry on the vertical displacements at the base.

Det framgår vidare av ICI:s rapport: att under hela uppbyggnaden av banken rörde sig partiklarna i underkant bank under slänten längs en roterande linje medan partiklarna längs mittlinjen rörde sig vertikalt.

Försöket där ett lager väv placerades i underkant bank visar att detta har en reducerande effekt på de horisontella rörelserna i underkant bank. Vad beträffar de vertikala rörelserna är effekten omfördelande. Detta innebär att den vertikala rörelsen mitt under banken minskar medan den ökar under släntkrön och krön. Installation av ytterligare väv på olika nivåer i banken gjorde att de horisontella rörelserna inne i banken minskade. Speciellt sker reduktionen i zoner nära väven. Effekten på de horisontella och vertikala rörelserna i underkant bank visar samma tendenser som för ett lager väv. Effekten av väv utöver ett lager väv i underkant bank är liten vad beträffar den vertikala rörelsen medan den är något större för den horisontella rörelsen. En jämförelse mellan rörelserna med och utan väv visas i Figur 29.

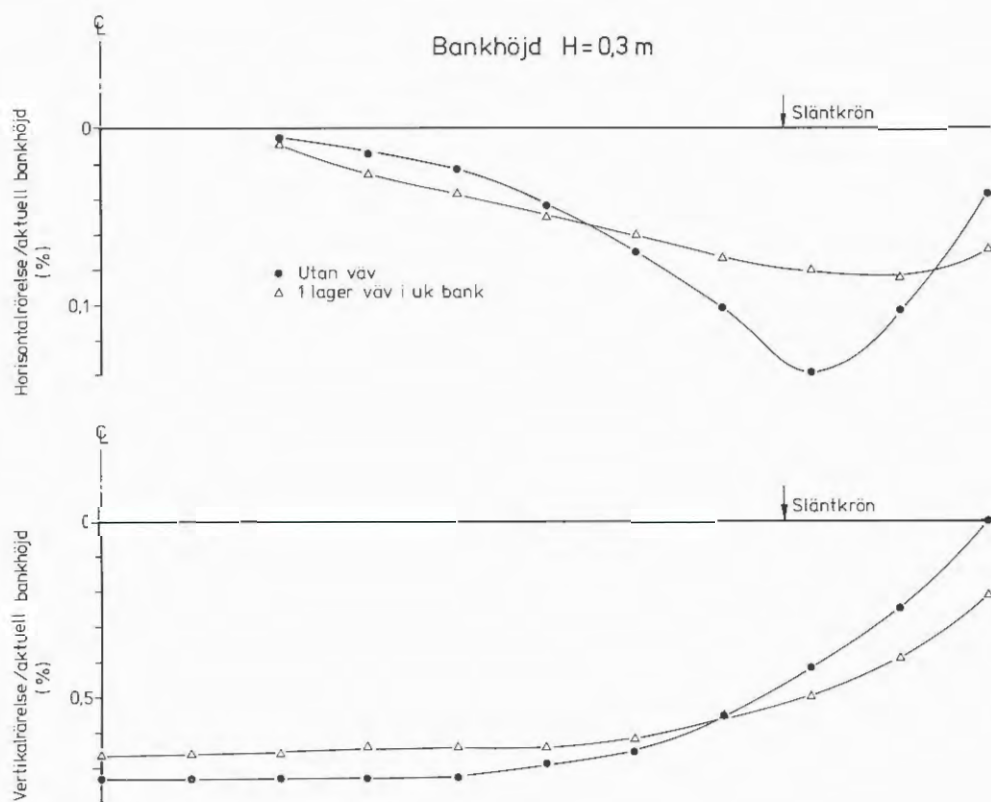


Fig 29a.

- Utan väv
- △ 1 lager väv uk bank
- 1 lager väv uk bank + 1 lager på 0,45 m höjd
- 1 lager väv uk bank + 1 lager på 0,3 m höjd

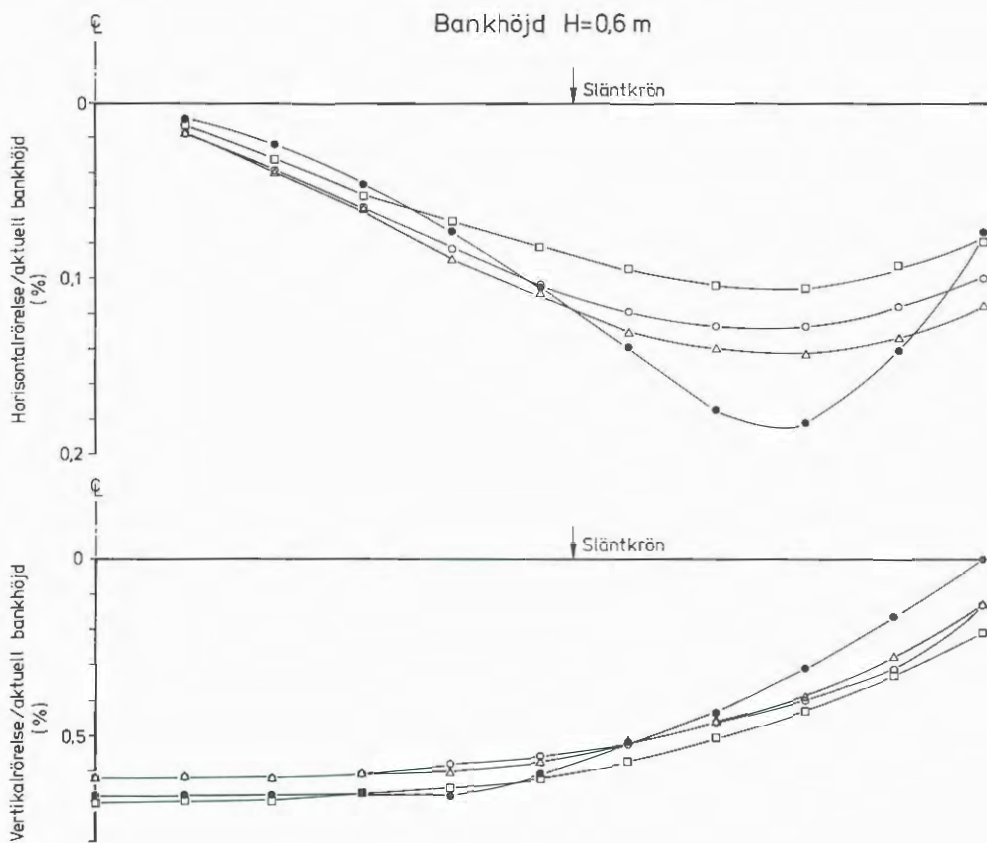


Fig 29b.

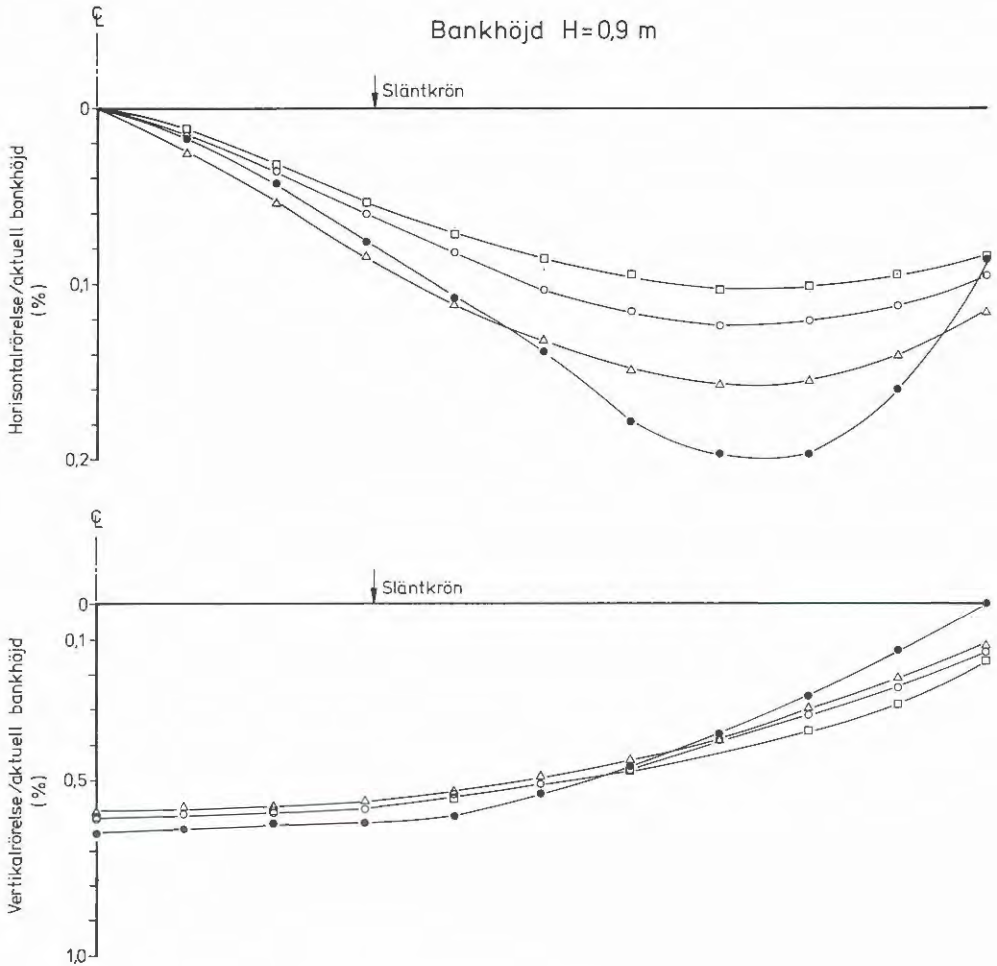


Fig 29c.

- Utan väv
- △ 1 lager väv uk bank
- 1 lager väv uk bank + 1 lager på 0,45 m höjd
- 1 lager väv uk bank + 1 lager på 0,3 m höjd +  
1 lager väv på 0,6 m höjd

Fig 29. Horisontella och vertikala rörelser i underkant bank för tre olika bankhöjder, med och utan "väv".

"Väven" har placerats på olika nivåer i banken.

Horizontal and vertical displacements at the base of the embankment for three different heights, with and without fabric. The fabric has been placed at different levels in the bank.

Skillnaden i vertikalrörelserna är liten p g a den höga E-modulen och den begränsade mäktigheten hos undergrunden. Effekten av väven kan sägas vara större för låga bankar och för en ökning av bankbredden vid en given höjd.

Utgående från de rörelser som mättes i väven i underkant bank kunde den mobiliserade kraften i väven beräknas. Det visar sig att kraften i väven ökar med ökande bankhöjd och minskar för en given bankhöjd med ökande bankbredd. Den största kraften i väven uppträder i underkant bank. Denna kraft minskar då flera lager väv läggs in i banken. I Figur 30 visas de beräknade krafterna i väven för olika bankhöjder med väv i underkant bank.

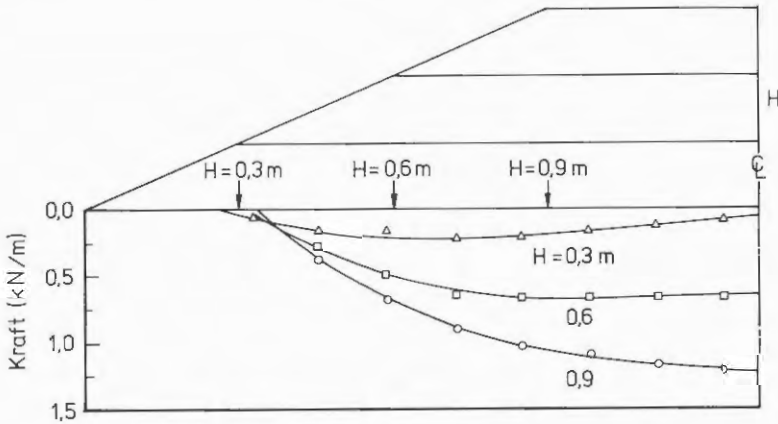


Fig 30. Beräknade krafter, utifrån mätta töjningar, i väven i underkant bank för olika bankhöjder.

*Tensile forces calculated from measured deformations, in the fabric at the base of the embankment, for different embankment heights.*

Lokala zoner av höga skjvutöjningar bildades i bankmaterialet vid slänten hos de på högre nivåer inlagda vävlagren, speciellt vid höga bankar och med flera lager

väv eller vid styv väv. En likadan zon kunde förväntas i undergrunden just under släntfoten. Utanför släntfoten gav emellertid de på högre nivåer placerade vävlagren en reduktion av skjuvtöjningarna. Ökningen av töjningarna vid släntfoten beror här på omfördelningen av sättningarna. Ökningen kan därför förväntas bli större för styvare armering. Det kan med utgångspunkt från dessa resultat antas att det är att föredra mer töjbar väv inberäknat ett lager i underkant bank framför mer styv väv.

Försöken med de uppvinklade vävlagren visade att när konstruktionen ändrades så ändrades sandens töjningsmönster, eftersom detta berörde materialens spänningshistoria i den meningen att uppfyllnaden av banken och utläggandet av väven ej skedde på samma sätt som för de övriga försöken. Någon jämförelse mellan försök med horisontella vävlager och försök med vinklade vävlager kunde därför ej göras.

Försöken med de uppvinklade vävlagren visade emellertid att ju fler lager som vinklades upp desto mindre blev de horisontella rörelserna och desto jämnare blev de vertikala rörelserna i underkant bank.

Jämförelse och ytterligare slutsatser av försöken redovisas i senare kapitel.

## 6 DISKUSSION AV FÖRSÖKSRESULTATEN

I tidigare kapitel har resultaten av SGI:s försök samt delar av resultaten från ICI:s försök redovisats.

### 6.1 Jämförelse mellan försöken

En jämförelse av de rörelser som observerats vid de två försöken visar att resultaten är samstämmiga, dvs det finns ingen anledning att inte tro att det är väven som minskar de horisontella rörelserna under slänterna och

omfördelar de vertikala rörelserna i underkant bank. Omfördelningen av de vertikala rörelserna innebär att en jämnare sättning erhålls inom bankens hela krön. Vidare finns det inget som motsäger att den största effekten på ovanstående rörelser erhålls vid en placering av väven i underkant bank, samt att vävens styvhet över ett visst värde ej har någon avgörande betydelse. Det viktigaste verkar vara att någon typ av väv placeras i underkant bank.

De båda försöken visar alltså samstämmiga resultat vad beträffar rörelserna och vävens styvhet trots att de blivit utförda på helt skilda sätt. Samtidigt har även modellmaterialen varit helt olika.

## 6.2 Stabilitet och bärighet vid SGI:s modellförsök

Studeras först den beräkning av  $N_C$ -faktorerna, utan hänsyn till väven, som gjorts för brottlasten vid de olika delförsöken som redovisas i resultatkapitlet, framgår det att de flesta ligger under värdet 5.

En förklaring till detta, förutom den som angetts tidigare, beskrivs av Mandel & Salençon. De säger att för en last med en rå underyta som vilar på en lös lera med begränsat djup till fast botten kan  $N_C$ -faktorn minska under 5. Detta under förutsättning att den fasta botten är glatt samt att förhållandet mellan lastens bredd och djupet till fast botten ligger inom ett visst intervall. För de utförda försöken uppfylls villkoret för förhållandet mellan bredd och djup. Eventuellt kan diskuteras om plexiglasbotten i lådan kan anses glatt. I sådant fall är även ovanstående resonemang en förklaring till att  $N_C$ -faktorerna ligger under 5.

Vid några av försöken fortsatte som tidigare beskrivits uppplastningen av banken även sedan glidytan i den aktiva zonen utbildats. Efter den ytterligare pålastningen utbildades även glidytan i den passiva zonen. Glidytan



som erhöjls var här ej helt cirkulär utan gick till en del längs botten i försökslådan. Enligt Mandel & Salençon är det rimligt med en glidyta längs botten vid det djup till fast botten i förhållande till lastens bredd som försöken utfördes med.

Utgående från de beräkningar av de erhållna fullt utbildade glidyterna har även försök gjorts med att beräkningsmässigt behandla den med väv grundlagda banken. Vid beräkning av de erhållna glidyterna erhöjls, som tidigare redovisats, utan hänsyn tagen till väven, följande säkerheter.

Försök	$F_c$
utan "väv"	1,13
3 lager modellväv	0,89
6 lager modellväv	0,86
1 lager AB Fodervävnaders väv kval 600	0,78

För att erhålla samma säkerhet i alla försök som det utan väv erfordras en ökning av säkerheterna med nedanstående procenttal.

3 lager modellväv	26%
6 lager modellväv	30%
1 lager AB Fodervävnaders väv kval 600	45%

Förenklat skulle kunna påstås att dessa procenttal anger vävens effekt.

För att få en uppfattning om vilken typ av glidytor som skulle kunna användas i den fortsatta analysen gjordes beräkning av modellen med cirkulärcylindriska glidytor med antagande om samma materialdata som i modellen. Generellt slogs den härvid beräknade farligaste glidyten för samma "lerdjup" som i modellen upp i banken bakom gavelväggen. De glidytor som slog upp framför gavel-

väggen gick ej ned till fast botten och hade en högre säkerhetsfaktor än de som gick ned till fast botten. Skillnaden i säkerhet mellan den farligaste glidytan och de som slog upp framför väggen var endast några procent.

Vid beräkning av den cirkulär cylindriska glidytan, som slog upp i samma punkt som glidyterna i försöken, blev säkerheterna för försöket utan väv 1,24 och för försöket med 6 lager modellväv 0,84. Någon hänsyn till friktion eller pådrivande jordtryck har inte tagits. Dessa värden skall jämföras med 1,16 och 0,89 för den vid modellförsöken erhållna glidytan beräknad med samma antaganden. Med utgångspunkt från dessa resultat används cirkulär cylindriska glidytor i den fortsatta analysen.

Olika försök gjordes alltså med att försöka uppskatta vävens inverkan i brottstadiet. Den lösning som gav den bästa överensstämmelsen med de verkliga glidyterna kan formuleras i nedanstående hypotes. Väven antas ha effekten att den håller ihop banken, dvs ökar friktionsvinkeln i banken. Detta skulle då medföra att glidytan i banken brantas upp mer och mer för att i brottskedet närma sig en vertikal glidyta i banken. Verknings sättet hos banken kommer alltså successivt att övergå från en vanlig bank till ett styvt fundament.

Utifrån denna hypotes kan väven antas ha den effekten på banken att glidytan vid brott blir vertikal. Härvid kan antas att det vid brott i banken byggs upp ett mot hållande aktivt jordtryck mot den vertikala glidytedelen i banken. I undergrunden förutsätts glidning ske längs en cirkulär cylindrisk glidyta.

Som ansats för en beräkning av fallet skulle som effekt av armeringen, antas ett mot hållande aktivt jordtryck i banken.

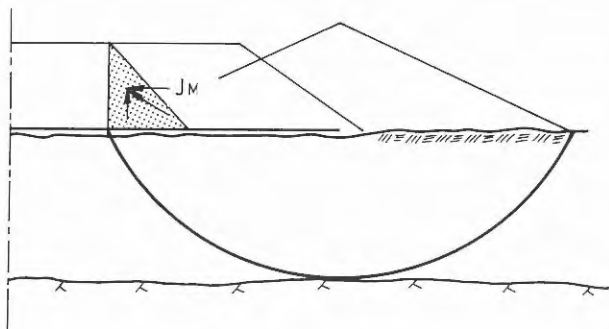


Fig 31. Förslag till "vävens" inverkan vid stabilitetsanalys av en bank.

A suggestion for the effect of the fabric in stability analysis of an embankment.

Om det ovan beskrivna beräkningssättet appliceras på de vid modellförsöken erhållna glidytor erhålls följande säkerhetsfaktorer, med hänsyn tagen till friktion mot väggarna

	Hänsyn tagen till väven enligt ovan	Utan hänsyn tagen till väven, pådrivande aktivt jordtryck medräknat
utan "väv"	1,126	1,126
3 lager modellväv	1,114	0,892
6 lager modellväv	1,09	0,864
1 lager AB Foderväv- naders väv kval 600	1,03	0,77

Som mothållande aktivt jordtryck har antagits ett lika stort som det maximala pådrivande jordtryck som använts i den tidigare beräkningen. Det kan emellertid diskuteras om det som mothållande jordtryck skall räknas fullt aktivt jordtryck.

Säkerhetsfaktorerna har närmast sig varandra mer än för de rent cirkulärcylindriska glidytor. Detta kan bero på att det kanske inte blir renodlade cirkulärcylindriska glidytor för de armerade fallen.

Att säkerhetsfaktorn för försöket med 1 lager Foderväv-  
naders väv kval 600 ändå skiljer sig relativt mycket  
kan bero på att väven är förhållandevis styv i modellen,  
samt att burken i vilken försöket utfördes var för liten  
för den erhållna banken och glidytan.

Vid en kontroll av beräkningsansatsen med exempel i full  
skala fanns det ingenting som tydde på att den i modell-  
försöken erhållna effekten av armeringen förstärktes  
på gynnsamma skaleffekter.

Utgående från de materialdata och de uppmätta töjningar  
hos armeringen som uppstod i försöken kan med utgångs-  
punkt från hypotesen följande krav ställas på "väven":  
För att den skall utnyttjas fullt skall den ha en sådan  
töjmodul att den vid en töjning motsvarande brott i  
undergrunden (ca 1,5% hos lera) kan ta en kraft mot-  
svarande maximalt aktivt jordtryck i banken.

### 6.3 Krafter i väven vid ICI:s modellförsök

I ICI:s resultatredovisning finns krafterna i väven be-  
räknade med utgångspunkt från de uppmätta rörelserna.  
I Figur 30 visades dessa krafter för olika bankhöjder.

Om resonemanget om effekten och verkan av en väv i  
underkant bank, som skett inom ramen för SGI:s försök,  
är riktigt så skall alltså kraften i väven i underkant  
bank motsvara horisontalkomponenten av ett fullt utbil-  
dat aktivt jordtryck i banken. Både jordtrycket och  
krafterna för ICI:s försök finns redovisade i Figur 32.  
Det aktiva jordtrycket är härvid beräknat med utgångs-  
punkt från de två gränsvärden på porositeten som angetts  
för bankmaterialet vid ICI:s försök. Någon uppgift om  
densiteten hos banken vid försöken finns inte i ICI:s  
rapport. Av Figur 32 framgår att överensstämmelsen ej  
är total. De olika krafterna är emellertid av samma stor-  
leksordning. Det skall beaktas att SGI:s försök gäller  
brottstadiet.

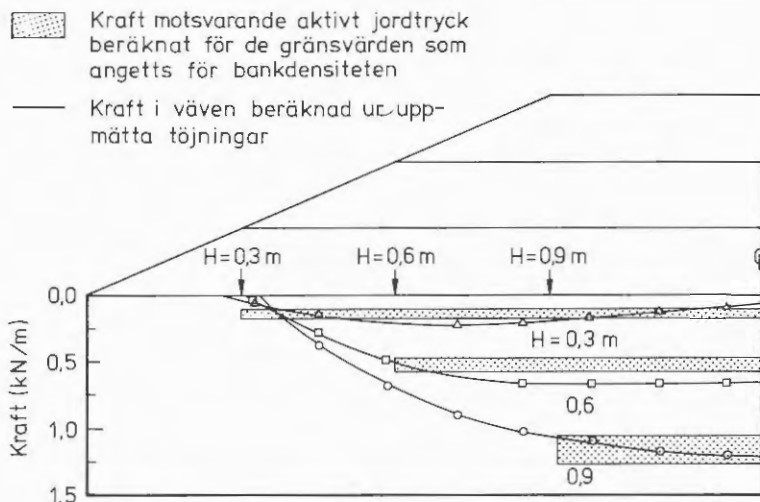


Fig 32. Jämförelse mellan den vid ICI:s försök beräknade kraften i väven i underkant bank och en kraft beräknad med utgångspunkt från den hypotes om vävens effekt som ställts upp utgående från SGI:s försök.

A comparison between the force in the fabric at the base of the embankment, calculated from the ICI tests, and the force calculated on the basis of the hypothesis about the effect of the fabric that has been discussed in conjunction with the SGI tests.

## 7 SLUTSATSER

Av de resultat som framkommit vid SGI och ICI:s försök finns det anledning att tro att

- Den odränerade horisontalrörelsen och vertikalrörelsen minskar respektive blir jämnare av en väv inlagd i underkant vägbank på lös undergrund.
- En polyesterväv inlagd under en vägbank på lös undergrund har positiv inverkan på bärigheten.
- Det finns för varje tillfälle en övre gräns för armeringens töjmodul över vilken väven ej fullt utnyttjas.

Det har emellertid inte helt klart framgått av försöken hur en vävgrundlagd bank fungerar. Resultatet av de redovisade försöken motiverar emellertid fortsatt forskning inom området. Den fortsatta forskningen kan förslagsvis delas upp i två delar. En del där vävens inverkan på bärigheten studeras och en del där vävens inverkan på sättningar och deformationer studeras.

För att få ytterligare klarhet i bärighetsproblemet bör fortsatta modellförsök utföras där bankens och undergrundens beteende kan studeras under ett helt förlopp, dvs under upplastning till brott i undergrunden. Vid dessa fortsatta modellförsök bör vissa justeringar i förhållande till de i dag utförda försöken göras. En instrumentering av både väven och banken borde utföras så att deformationerna hos dessa mer exakt kan mätas. Vidare skulle det vara intressant att instrumentera väven med de töjningsmätare som i dag finns tillgängliga.

Vad beträffar sättningarna kan dessa naturligtvis också studeras med ytterligare modellförsök. En studie i brottstadiet är i detta fallet ej nödvändig. Det kan därför vara lämpligt att utföra dessa studier via ett fullskaleförsök på en lämplig vägsträcka. Det skulle då även gå att få en uppfattning om sättningarnas långtidsförlopp, dvs om de slutsatser som dragits, med utgångspunkt från de utförda försöken, angående de odränerade deformationerna även gäller de dränerade deformationerna.

## 8 LITTERATURFÖRTECKNING

Cadlin, L & Odenstad, S, 1950. The vane borer: An apparatus for determining the shear strength of clay soils directly in the ground, Royal Swedish Geotechnical Institute, Proceedings No 2.

- Butterfield, R, Harkness, R M & Adraws, K Z, 1970. A stereophotogrammetric method for measuring displacement field, *Geotechnique* 20 No 3, s 308-314.
- Mandel, I & Salençon, I, 1972. Force portante d'un sol sur un assise rigide (étude theorique), *Geotechnique* 22 No 1, s 79-93.
- Belfrage, J, 1980. Horisontalarmerade fyllningar på lös jord; Arbetsrapport SGI varia 27.
- Mashhour, M, 1979. The behaviour of model granular embankments with and without fabric inclusions, Department of Civil Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, vol 1, 2.
- Imperial Chemical Industries Ltd (ICI), 1978. Att konstruera med "Terram".

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT  
Swedish Geotechnical Institute  
S-581 01 Linköping  
Tel: 013/11 51 00

Serien "Rapport" ersätter våra tidigare serier: "Proceedings" (27 nr), "Särtryck och Preliminära rapporter" (60 nr) samt "Meddelanden" (10 nr).

The series "Report" supersedes the previous series: "Proceedings" (27 Nos), "Reprints and Preliminary Reports" (60 Nos) and "Meddelanden" (10 Nos).

#### RAPPORT/REPORT

No.	År	Pris kr (Sw.crs)
1. Grundvattensänkning till följd av tunnelsprängning. <i>P. Ahlberg, T. Lundgren</i>	1977	50:-
2. Påhängskrafter på långa betongpålar. <i>L. Bjerin</i>	1977	50:-
3. Methods for reducing undrained shear strength of soft clay. <i>K.V. Helenelund</i>	1977	30:-
4. Basic behaviour of Scandinavian soft clays. <i>R. Larsson</i>	1977	40:-
5. Snabba ödometerförsök. <i>R. Karlsson, L. Viberg</i>	1978	25:-
6. Skredriskbedömningar med hjälp av elektromagnetisk fältstyrkemätning - provning av ny metod. <i>J. Inganäs</i>	1978	40:-
7. Förebyggande av sättningar i ledningsgravar - en förstudie. <i>U. Bergdahl, R. Fogelström K.-G. Larsson, P. Liljekvist</i>	1979	40:-
8. Grundläggningskostnadernas fördelning. <i>B. Carlsson</i>	1979	25:-
9. Horisontalarmerade fyllningar på lös jord. <i>Johan Belfrage</i>	1981	50:-





**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT**

Besöksadr.: Olaus Magnus väg 35, LINKÖPING

Postadr.: 581 01 LINKÖPING, tel 013-11 5100