

## Nygamla vingar, stora som små

HELEN ÅHNBERG  
ROLF LARSSON  
CHRISTINA BERGLUND

**Varia** | Statens geotekniska institut (SGI)  
581 93 Linköping

Beställning | SGI  
Litteratortjänsten  
Tel: 013-20 18 04  
Fax: 013-20 19 09  
E-post: [info@swedgeo.se](mailto:info@swedgeo.se)  
Internet: [www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se)

ISSN | 1100-6692  
ISRN | SGI-VARIA--01/509--SE

Projektnummer SGI | 10985  
Dnr SGI | 1-0106-0384  
© | Statens geotekniska institut



## **Varia 509**

# **Nygamla vingar, stora som små**

Helen Åhnberg  
Rolf Larsson  
Christina Berglund

Linköping 2001

## FÖRORD

Denna skrift redovisar jämförelser mellan resultat från försök med olika utrustningar för vingförsök, gamla som nya, samt försök med olika vingstorlekar. Vingförsök i fält är den metod som, sedan dess introduktion på 1950-talet, kommit att bli den normala för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet i kohesionsjord. De nya utrustningar som nu kommit ut på marknaden har en delvis annorlunda utformning än de gamla och frågan har därmed uppkommit om de ger samma resultat. I vingförsök används också vingdon av olika storlek, trots att någon större systematisk undersökning av betydelsen av denna parameter, till skillnad från dess form och godstjocklek i olika delar, veterligt aldrig gjorts.

I samband med undersökningarna i projektet ”Effekter av avlastningar i slänter” som bedrivs med medel från Räddningsverket, Banverket och SGI erhöles klara indikationer på att små och normalstora vingar kan ge väsentligt olika resultat. I dessa omfattande undersökningar var det också önskvärt att använda nya och mer rationella utrustningar i så hög grad som möjligt. En separat jämförande undersökning mellan olika utrustningar och vingstorlekar påbörjades därför i Munkedal med assistans av Geotech AB, ENVI AB och Geogruppen AB som lånade ut utrustning. På basis av de resultat som erhöles i denna undersökning beslöts att utöka de jämförande undersökningarna mellan små och normala vingdon till ytterligare en lokal i Sundholmen i Marks kommun.

Samtidigt har större vingdon än det normala kommit till större användning än tidigare för att öka mätnoggrannheten och minska spridningen i resultaten vid försök i lös lera. Frågan har därmed uppstått om dessa större vingar ger samma resultat som de normala. Resultat från en större jämförande undersökning med avseende på detta i Göteborg har ställts till institutets förfogande av Flygfältsbyrån. För att komplettera detta material har jämförande undersökningar med stora och normala vingar utförts i ytterligare två lokaler med lös jord i Göteborgsområdet. Hjälpt med val av lokaler, en i Nödinge i det projekterade läget av nya Riksväg 45 och en vid Söderleden mellan Mölndal och Järnbrott, samt kompletterande material erhöles av AB Jacobson&Widmark och Chalmers tekniska högskola. Dessa kompletterande undersökningar utfördes av Forsgrens Konsultbyrå. Projektet har bekostats av interna medel från SGI.

Ett varmt tack riktas till alla som ställt upp och medverkat i denna undersökning och utan vars hjälp den inte kunnat utföras i denna omfattning.

Linköping i augusti 2001

Författarna

## **INNEHÅLLSFÖRTECKNING**

<b>Förord</b>	<b>2</b>
<b>Vingförsöket</b>	<b>4</b>
<b>Utrustningar</b>	<b>5</b>
Traditionella utrustningar	
Nya utrustningar	
<b>Undersökningar i detta projekt</b>	<b>8</b>
<b>Jämförelser</b>	<b>10</b>
Olika utrustningar samt normalt och litet vingdon	
Normalt och stort vingdon	
<b>Diskussion av resultaten</b>	<b>19</b>
<b>Slutsatser och rekommendationer</b>	<b>19</b>
<b>Referenser</b>	<b>20</b>

## VINGFÖRSÖKET

Vingförsök i fält innebär att ett vingdon installeras i jorden med så liten störning som möjligt och sedan roteras tills brott uppstår i jordens utmed vingdonets omskrivna mantelyta, [1]. Samtidigt mäts vridmomentet,  $M$ , och ett skjuvhållfasthetsvärde,  $\tau_v$ , beräknas sedan ur detta och vingdonets geometri, *figur 1*. Senare undersökningsmetoder i fält, som CPT-sondering och dilatometerförsök, liksom den vanligaste laboratoriemetoden, fallkonförsöket, är kalibrerade mot vingförsök [2,3,4].

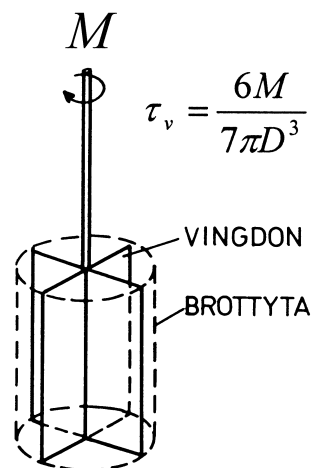


Fig. 1 Princip för vingförsök.

Innan vingförsöket introducerades genomfördes en omfattande forskning där inverkan av faktorer som vingbladens antal och tjocklek, vingdonets höjd-diameterförhållande etc. studerades, [1]. Senare har ett stort antal liknande studier med vingdon av olika form och materialtjocklekar utförts runt om i världen. Dessutom har stora studier utförts av inverkan av väntetiden mellan vingdonets installation och starten av själva försöket, liksom av inverkan av rotationshastigheten och tiden till brott i jorden. Alla dessa undersökningsresultat har vägts in i den rekommendation för utförande som givits av Svenska Geotekniska Föreningen och senare i Eurocode 7, Part 3, [5,6].

För att erhålla en relevant odränerad skjuvhållfasthet,  $\tau_{fu}$ , med hänsyn till alla ovannämnda effekter korrigeras det beräknade skjuvhållfasthetsvärdet,  $\tau_v$ , med en empirisk korrektionsfaktor,  $\mu$

$$\tau_{fu} = \mu \tau_v$$
$$\mu = \left( \frac{0,43}{w_L} \right)^{0,45}$$

där  $w_L$  är jordens flytgräns i decimaltal, [7].

## UTRUSTNINGAR

### **Traditionella utrustningar**

Länge fanns det bara två typer av vingutrustning i bruk i Sverige; den ursprungliga utrustningen som kallats såväl SGI-utrustning, efter ursprunget, som Geonor-utrustning, efter tillverkaren, och Nilcon- eller Geotech-utrustningen som konstruerats och tillverkats av Jonell&Nilsson, sedermera Nilcon och Geotech AB. Den första utrustningen är av kraftig konstruktion med ett yttre styvt rörsystem som nedtill avslutas med en skyddskåpa för vingen. Under neddrivningen är vingdonet indraget och skyddat i kåpan och när försöksnivån nåtts trycks det ut en normerad distans framför kåpan, som skall vara tillräckligt för att försöket skall utföras i ”ostörd” jord. Vingdonet är kopplat till ett inre stångsystem med vilket det kan tryckas ut, roteras och dras in i skyddskåpan igen. Rotationsmomentet appliceras och mäts med ett speciellt instrument vid markytan. Det inre stångsystemet löper fritt inuti de yttre skyddsroren och är lagrat strax ovan skyddskåpan, vilket medför att momentförlusterna på grund av friktion i innersystemet minimeras. Dessa är trots detta så stora att de måste kalibreras. Efter försöket dras vingen åter in i skyddskåpan så att den dels skyddas, dels befrias från eventuellt vidhäftande jord från provningsnivån.

Denna ursprungliga utrustning är relativt tung och omfattande och var, speciellt före borrhandsvagnarnas tid, mycket arbetskrävande då allt bars, trycktes ned och drogs upp för hand. Av denna anledning konstruerades den lättare Geotech-utrustningen som endast består av ett vingdon, en glappkoppling, ett klenst stångsystem och ett vridinstrument. Med denna utrustning trycks vingdonet oskyddat ner i jorden till provningsnivån, varpå det roteras och sedan trycks vidare till nästa provningsnivå. Detta medför att mantelfriktion utvecklas mellan stängerna och omgivande jord. Friktionen mäts med hjälp av glappkopplingen, som fungerar på så sätt att först vrids stängerna tills brott utbildas i kontaktytan mellan dessa och omgivande jord och en någorlunda konstant friktion utbildas och registreras. Sedan hakar vingdonet i, och det totala vridmomentet för att rotera vingdon och stänger mäts. Utrustningen är betydligt lättare att hantera än SGI-utrustningen, även om skillnaderna har minskat avsevärt med användandet av dagens borrhandsvagnar. Den lättare utrustningen är främst användbar i jordprofiler med en tunn torrskorpa ovanpå relativt homogen kohesionsjord, i vilken hållfastheten ökar kontinuerligt mot djupet. Vid den omvända hållfasthetssekvensen, där jorden är fastare i överliggande jord, finns en påtaglig risk att den fastare jorden häftar vid vingen och sedan stör den underliggande lösare jorden vid neddrivningen [8]. Torrskorpan måste därför alltid förborras, vilket dock inte är något större problem om den är tunn. Stora fasthetsvariationer på större djup är svårare att hantera. Risken att utrustningen skall skadas vid försök i inhomogen och skiktad jord är också större. Jämförande undersökningar har visat att resultaten från de två typerna av utrustning normalt är likvärdiga i lös homogen lera, men att hållfastheten kan underskattas påtagligt vid användande av den lättare utrustningen i skiktad jord.

För båda utrustningarna finns ett normalvingdon med diametern 65 mm och höjden 130 mm. I fast jord byts detta mot ett mindre vingdon med diametern 55 mm och höjden 110 mm och i mycket lös jord kan man använda ett större vingdon med diametern 80 mm och höjden 160 mm.<sup>1)</sup> Anledningen till bytet av vingdon är i det första fallet att vridinstrumentets kapacitet och/eller vingdonets hållfasthet överskrids. I det andra fallet blir vridmomentet med det normala vingdonet för lågt för att registreras med tillräcklig noggrannhet. Det större

---

<sup>1</sup> Enligt SGF rekommenderad standard får vingdon med dimensioner mellan 40 x 80 och 100 x 200 mm användas, men i praktiken används endast de tre nämnda storlekarna.

vingdonet kan inte dras in i någon skyddskåpa, men användningen har främst varit begränsad till att mäta hållfastheten i bottenslam och ytliga nivåer i våtmarker, där något skydd för vingdonen knappast behövs. Den odränerade skjuvhållfastheten utvärderas på samma sätt med ledning av vridmomentet och vingdonets geometri oavsett vingstorlek. Detta trots att någon större systematisk undersökning av betydelsen av vingdonets storlek, till skillnad från dess form och godstjocklek i olika delar, veterligen aldrig gjorts. En mindre jämförande undersökning har dock tidigare utförts i mycket lös lera, [9]. Resultaten från denna antydde att något högre värden erhöles med den minsta vingen jämfört med den normalstora, medan lägre värden erhöles med den största vingen. Övriga resultat i undersökningen tydde dock på att friktionen i utrustningen, som inte mättes i dessa jämförande försök, var av en sådan storlek att skillnaderna mer än väl kunde förklaras av denna och att relationerna därför eventuellt kunde vara de omvända. På grund av dessa osäkerheter rekommenderades att den minsta storleken på vingdonet inte skulle användas förrän det blev absolut nödvändigt.

### **Nya utrustningar**

Någon direkt nyutveckling av vingutrustningar har inte skett förrän under det senaste decenniet. Av de gamla utrustningarna var det främst SGI-utrustningen som förändrades lokalt hos användarna så att de speciella yttre skyddsörren ersattes med kolvborrör, samma glappkoppling som i Nilcon-utrustningen byggdes in i skyddskåpan och det bättre Nilcon-instrumentet användes även för denna utrustning. I övrigt gjordes endast anpassningar så att utrustningarna passade in i de nya borrhandsvagnarna.

Numera sker nästan all registrering av sonderingar och fältförsök med elektronik för överföring till datorer och automatisk redovisning och uppritning. Också för vingförsöket sker detta i allt högre grad. Ett elektriskt instrument, där momentpåläggningen görs med en reglerbar elektrisk motor och där tid, rotation och vridmoment registreras och lagras elektroniskt, har konstruerats av Geotech AB och finns på marknaden sedan några år tillbaka. Ett motsvarande instrument har nu utvecklats av ENVI AB. Bland annat i samband med introduktionen av Eurocoden har efterfrågan av vingutrustningar med skyddsör och skyddskåpa ökat, och nya sådana utrustningar har konstruerats av såväl Geotech AB som ENVI AB.

Geotechs nya "Eurocodevinge" använder sig i princip av det beprövade konceptet med momentpåläggning och registrering vid markytan. Som skyddsör används kolvborrör med något större hål i tapparna än normalt. En glappkoppling är också inbyggd nere vid skyddskåpan så att stångfriktionen kan mätas. Vid försöken mäts och registreras tid, vridningsvinkel och moment, och ur detta kan stångfriktion och vridmoment på vingdonet separeras. Den vridningsvinkel som registreras är dock vridningen på toppen av stångpaketet och motsvarar således inte vingens verkliga rotation.

ENVI:s nya vingutrustning bygger på samma koncept som företagets "memocone", d.v.s. vridmomentet mäts och lagras nere vid skyddskåpan. Därmed kan momentet mätas direkt på vingdonet utan kablar eller annan signalöverföring till markytan. Momentet appliceras med ett instrument vid marknivå, och för att ha kontroll på när brott inträffat och försöket kan avslutas finns här också en enklare momentmätare som observeras manuellt. Någon mätare för vridningsvinkeln finns inte i spetsen, utan vad som registreras här är tid och vridmoment. En speciell konstruktion av nederdelen har också gjorts för att underlätta återindragandet av vingen i skyddskåpan.



Båda utrustningarna har skyddskåpor med en geometrisk utformning som skiljer sig markant från den tidigare SGI-Geonor-utrustningen. Skyddskåporna i de nya utrustningarna är inbördes snarlika till geometrin och båda uppfyller de specifikationer som anges i såväl SGF:s rekommendationer som Eurocoden. Tidigare har i princip bara en typ av skyddskåpa funnits. De undersökningar som gjorts med denna kåpa har visat att avståndet mellan vinge och skyddskåpa vid försökets utförande har stor betydelse för resultaten och att den normerade utskjutningslängden är precis vad som behövs för att vingdonet skall utföras i ”ostörd” jord, [1,9]. Någon undersökning där man i detalj studerat inverkan av skyddskåpans geometri, och därmed sammanhörande jordundantänkning och störning vid neddrivningen samt erforderlig utskjutningslängd, har veterligen inte gjorts.

## UNDERSÖKNINGAR I DETTA PROJEKT

I Munkedal har förhållandena i en slänt mot Örekilsälven nyligen undersökts inom ett parti med mycket mäktiga lerlager. Slänten har tidigare varit föremål för en större stabilitetsutredning i början av 1980-talet, och som ett resultat av denna utfördes en mycket stor avschaktning vid släntkrönet. Avschaktningen gjordes längs en flera hundra meter lång sträcka och som mest avschaktades cirka tio meter i olika avsatser. Huvudsyftet med de nya undersökningarna var att studera hur grundvattenförhållandena ställt in sig och varierar i den nya släntgeometrin, om de ursprungliga hållfasthetsegenskaperna förändrats på grund av anpassning till den nya spänningssituationen och hur stabilitetssituationen därmed har utvecklats sedan avschaktningen.

Jorden i området består överst av sväm- och deltsediment av sand och silt med inslag av organiskt material. Detta övergår sedan till en marin lera med successivt minskande innehåll av silt och organisk material för att på djupet bli en sulfidfläckig lera med ett visst innehåll av snäckskal. På grund av det organiska innehållet benämns de övre lerlagren som gyttjiga. Lerans flytgräns ökar med djupet till som högst 60 – 70 % cirka 20 m under ursprunglig markyta och minskar sedan med djupet. Inom de aktuella delarna av området är sensitiviteten normal, d.v.s. i huvudsak 10 – 20.

I de ursprungliga undersökningarna ingick ett stort antal vingförsök till relativt stora djup i relativt fast lera. Fastheten beror dels på lerdjupen, dels på den tidigare överlasten. På grund av fastheten, och beroende på vilken utrustning som använts, har det varit nödvändigt att variera vingstorleken. Resultaten från de nya försöken har också jämförts med de resultat som erhöles med dåtidens utrustningar i den tidigare stabilitetsutredningen.

I de nya undersökningarna erhöles redan på ett tidigt stadium indikationer på att ett byte av vingstorlek medförde förändrade värden på den utvärderade hållfastheten. För att kunna säkerställa eventuella förändringar i hållfastheten på grund av avlastningen och storleken av dessa måste man i detalj veta hur resultaten från olika utrustningar och olika vingstorlekar förhåller sig till varandra. Det har också på grund av undersökningarnas omfattning varit önskvärt att kunna använda de senaste och mest utvecklade utrustningarna i så stor omfattning som möjligt. För att kunna göra detta måste man dock först förvissa sig om att de, trots vissa geometriska skillnader, verkligen ger samma resultat som de äldre utrustningarna. En större jämförande undersökning mellan olika utrustningar och vingstorlekar genomfördes därför i slänten i Munkedal. De jämförande undersökningarna har utförts från de avschaktade ytorna, där lagret av sand och silt avlägsnats. Jämförelserna mellan olika vingstorlekar utfördes i leran under det gyttjiga och siltiga övergångslagret, medan övriga jämförelser utfördes inom hela den kvarvarande jordprofilen ner till 25 m under nuvarande markyta.

Undersökningar gjordes med följande utrustningar: SGI-utrustning med normalt och litet vingdon, lätt Geotech-utrustning med normalt och litet vingdon, SGI-utrustning med Geotechs nya elektroniskt registrerande instrument, Geotechs ”Eurocodevinge” samt ENVI:s dåvarande prototyp för ”Eurocodevingen”. Undersökningarna var upplagda för att kunna studera om det blir några skillnader i resultat beroende på vilken utrustning som används, vilket vingdon som används eller vilken typ av registrering som används.

Motsvarande undersökningar av effekten av avschaktning i slänter utförs också på andra platser. På grund av de resultat som erhöles i Munkedal, fortsattes de jämförande

undersökningarna mellan det normala mellanstora vingdonet och det mindre vingdonet i senare undersökningar i en avschaktad slänt mot Viskan i Sundholmen i Marks kommun. I detta området består jorden överst av cirka 6 m svämsediment av gyttjig silt övergående i siltig gyttja. Härunder finns homogen och i huvudsak medelfast lera till mycket stort djup. Inom det djupintervall där de jämförande undersökningarna utfördes är lera sulfidfläckig med en nära nog konstant flytgräns av 65 %. Sensitiviteten är normal i storleken 10 – 20.

Samtidigt har man på Flygfältsbyrån i Göteborg börjat använda det största vingdonet i större utsträckning också i normal lös lera. Anledningen är främst att på detta vis öka upplösningen och reducera spridningen i mätresultaten. Härvid har frågan uppkommit om dessa försök verkligen storleksmässigt ger samma resultat som de som erhålls med den vanligen använda mellanvingen. Jämförande provningar har därför utförts av Flygfältsbyrån i slänten ned mot Sävån vid den s.k. Kvibergslänken. I denna lokal består jorden av lös och medelfast sulfidfläckig lera med en flytgräns av 80 – 90 %, vilken på nivån cirka 0 m sjunker till 60 – 70 %. Sensitiviteten är cirka 30 i det övre lerlagret och sjunker till cirka 20 i det undre lagret.

För att komplettera de senare resultaten har några jämförande försök med stora och normala vingdon utförts av SGI i ytterligare ett par lokaler i Göteborgstrakten, en vid Nödinge i Götaälvdalen och en längs Söderleden mellan Mölndal och Göteborg.

I Nödinge består jorden av lera som överst är mycket lös och vars fasthet sedan ökar med djupet. De översta metrarna innehåller växtrester, men därunder är jorden klassificerad som endast svagt sulfidfläckig lera. De jämförande försöken utfördes inom djupintervallet 3 – 12 m, d.v.s. under torrskorpa och jord med växtrester. Inom detta intervall är flytgränsen nära nog konstant runt 90 % och sensitiviteten normal mellan 10 och 20.

Vid Söderleden består den övre delen av jordprofilen av lerig gyttja. Inom djupintervallet 3 till 9 m, där de jämförande undersökningarna utfördes, är gyttjan mycket lös till lös och flytgränsen nästan konstant runt 110 %.

## JÄMFÖRELSE

### Olika utrustningar samt normalt och litet vingdon

Resultat av jämförande vingförsök med normalt vingdon och litet vingdon i Munkedal visas i *figur 2*. För både SGI-utrustningen och den lätta Geotech-utrustningen gav det mindre vingdonet genomgående lägre hållfasthetsvärden. Det mindre vingdonet gav värden som i medeltal är cirka 87 % av värdena från vingdon av normalstorlek.

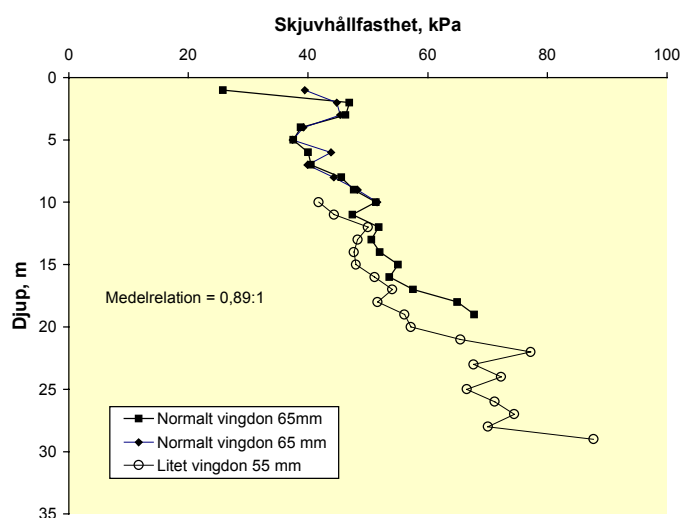
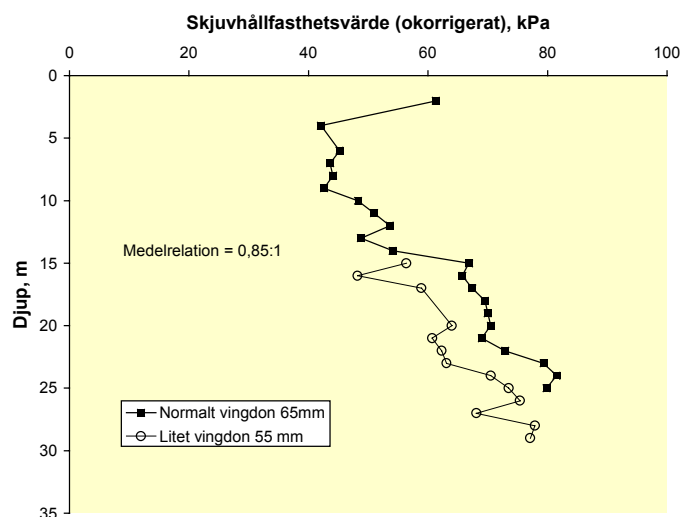
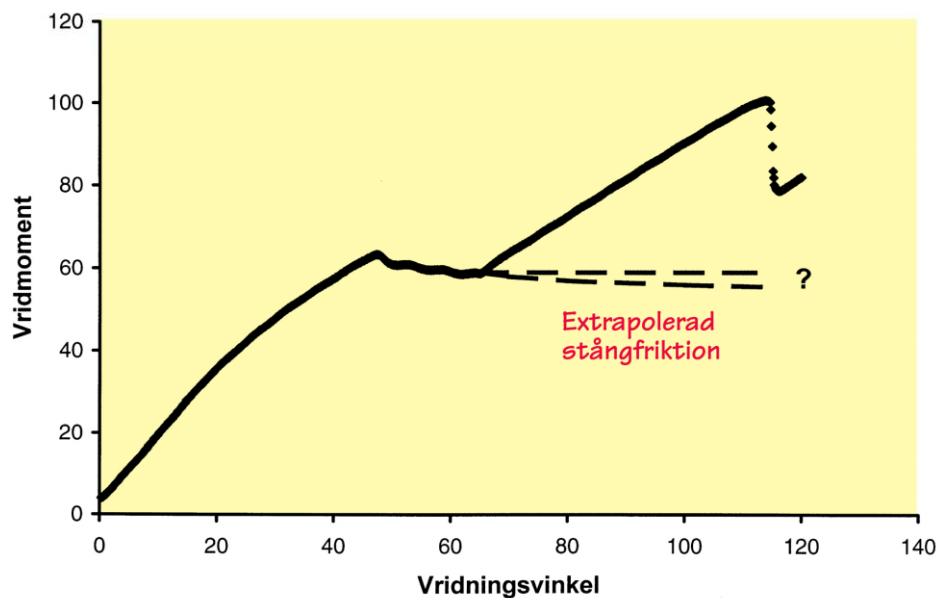


Fig. 2 Resultat från vingförsök i Munkedal.  
a) Jämförelse mellan försök med olika vingstorlek med SGI-utrustning.  
b) Jämförelse mellan försök med olika vingstorlek med lätt Geotech-utrustning.

En jämförelse mellan SGI-utrustningen och den lätta Geotech-utrustningen visade att resultaten blev i stort sett identiska så länge samma vingstorlek används. I det aktuella fallet var dock leran fast och stångfriktionen blev snabbt mycket hög för den lätta utrustningen utan skyddsror. Detta medförde att vingdonet måste bytas till en mindre storlek vid ett relativt måttligt djup, varpå värdena av denna anledning blev lägre för den lätta utrustningen.

Efter byte av vingdon kom stångfriktionen för den lätta utrustningen att utgöra en mycket hög andel av det totala vridmotståndet, vilken också ökade med ökande djup. Vid korrektion för stångfriktion utgår man ifrån att det friktionsvärde som mäts innan glappkopplingen hakar i vingdonet förblir konstant under den fortsatta vridningen. Eventuella fel i detta antagande är försumbara så länge friktionen endast utgör en mindre del av det totala motståndet. I fasta leror, där friktionen kan utgöra större delen av det totala vridmotståndet, är detta fel dock inte längre försumbart utan utgör ett påtagligt osäkerhetsmoment i utvärderingen, *figur 3*.



*Fig. 3* Osäkerhet i utvärdering av resultat från lätt vingutrustning vid stor stångfriktion.

En jämförelse mellan resultaten från vingförsök med samma utrustning, men med olika instrument för momentpåläggning och registrering, visade ingen signifikant skillnad. Detta är helt logiskt under förutsättning att försöken utförts med samma väntetider och rotationshastigheter och att instrumenten varit rätt kalibrerade.

Jämförelserna mellan försök utförda med de nya "Eurocode-vingarna" och den traditionella SGI-utrustningen visade heller inga signifikanta skillnader, *figur 4*. Detta tyder på att skillnaden i geometrisk utformning av skyddskåpan inte haft någon mätbar inverkan i detta fall

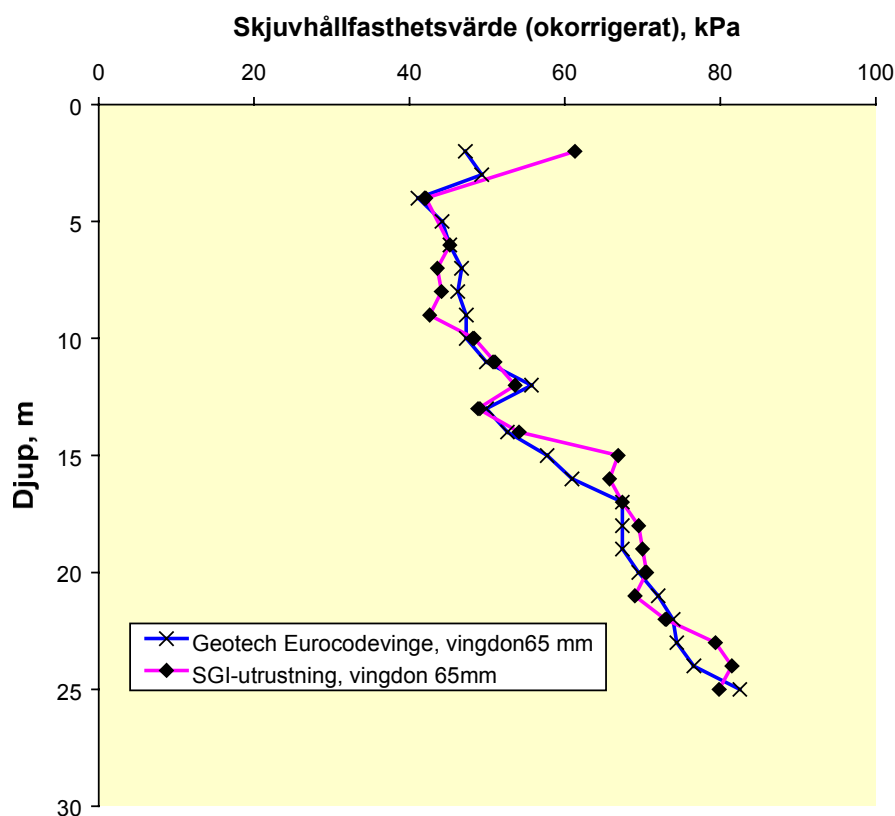


Fig. 4 Vingförsök i Munkedal. Jämförelse mellan resultat från SGI-utrustning och "Eurocodevinge" typ Geotech.

De jämförande undersökningarna i Sundholmen i Marks kommun utfördes i en profil med homogen lera, där tidigare vingförsök med normalstora vingdon i olika punkter givit mycket samstämmiga resultat. Dessa utfördes 1957 med SGI-utrustning och 1989 med lätt Geotech-utrustning.. Också de nya försöken med SGI-utrustning gav i princip samma resultat som de tidigare, *figur 5*.

Försöken med olika vingstorlekar visade att de små vingarna gav lägre värden, *figur 6*. Skillnaden var dock i medeltal endast 4 % jämfört med 13 % i Munkedal. Detta tyder på att inverkan av störningen vid installationen, som kan förväntas vara relativt större för ett litet vingdon än för ett större, varit mindre i leran i Sundholmen. Att störningseffekterna vid installation av vingdon kan variera kraftigt mellan olika jordar och generellt tenderar att öka med minskande flytgräns är väl känt, se *figur 7*. Spridningen i försöksresultat var också större för den lilla vingen.

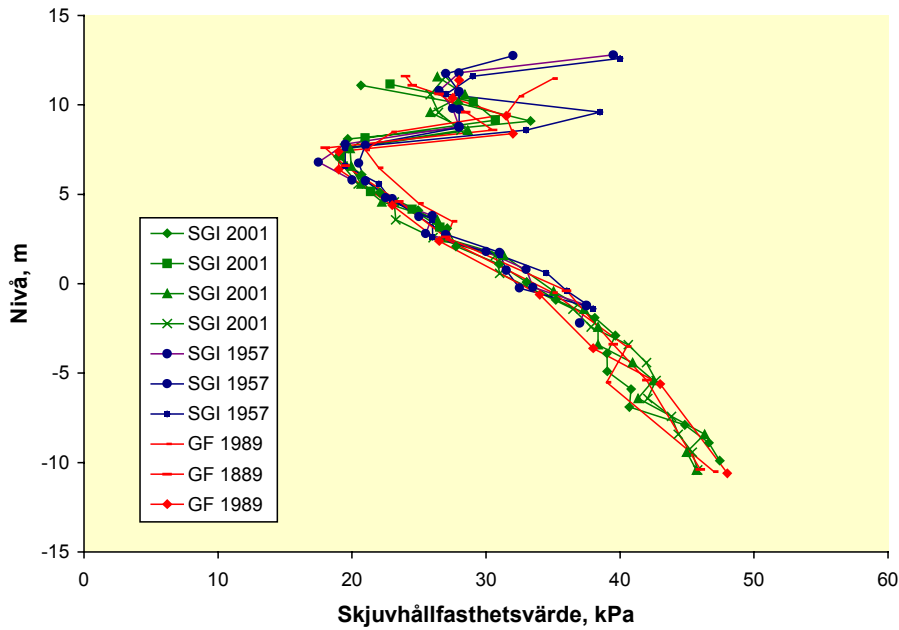


Fig. 5 Jämförelse mellan resultat från vingförsök med normalstort vingdon i Sundholmen vid olika tidpunkter och med olika utrustningar. De röda kurvorna markerade GF1989 härrör från försök utförda av GF-Konsult AB med lätt Geotech-utrustning.

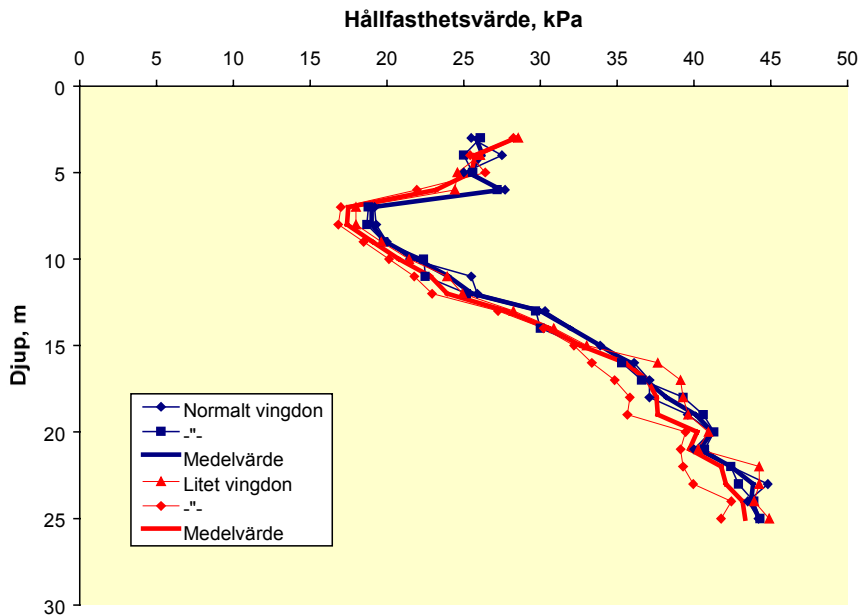


Fig. 6 Jämförelse mellan resultat från försök med mellanstora och små vingdon i Sundholmen.

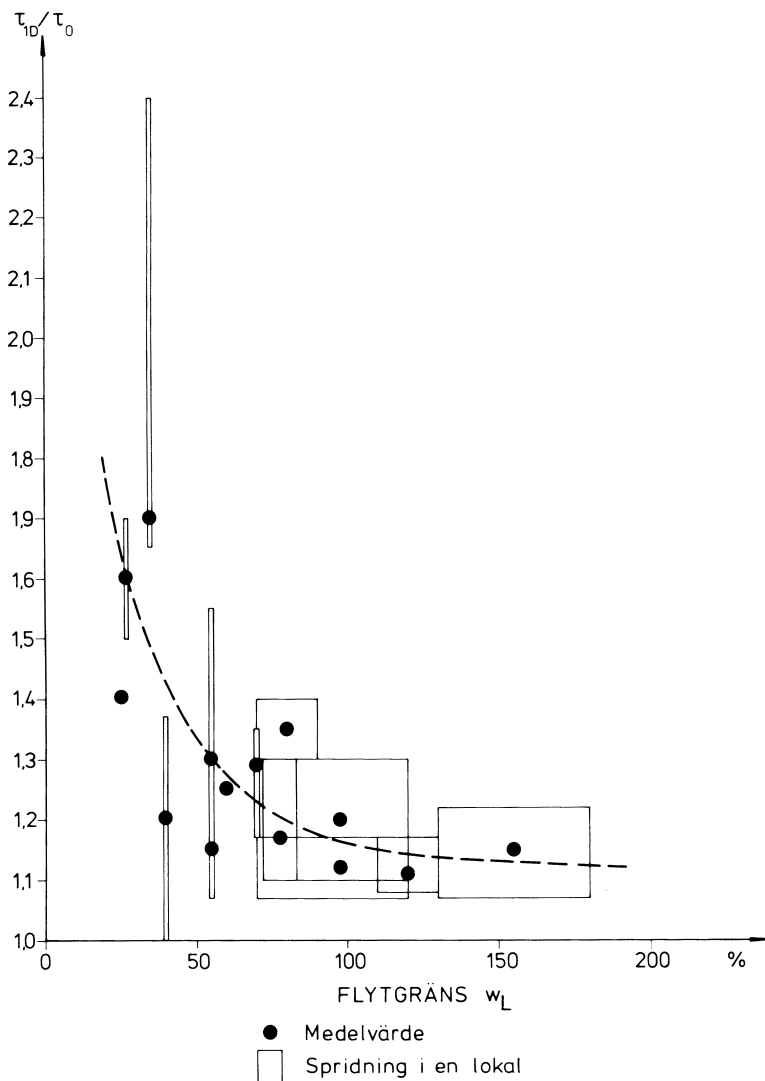


Fig. 7 Störningsgrad vid installation av vingdon utvärderad genom jämförelse av uppmätta hållfasthetsvärden direkt efter installation av vingdonet och hållfasthetsvärden uppmätta efter att jorden runt vingdonet fått rekonsolidera under ett dygn innan vridningen påbörjats, [7].

Jämförelserna i Sundholmen visade också att i de översta metrarna, där jorden är gytjig, gav det mindre vingdonet högre hållfasthetsvärden. Detta kan bero på att i gytja sker brottet normalt ett par mm utanför vingdonet [10], vilket resulterar i högre hållfasthetsvärden ju mindre vingen är om hållfastheten beräknas ur vridmomentet och den nominella diametern.

### Normalt och stort vingdon

De jämförande provningar som utförts av Flygfältsbyrån vid Kvibergslänken gav samstämmiga resultat från försök utförda med normalt respektive stort vingdon. I figur 8 visas resultaten från försök i 10 punkter inom området. I de flesta punkterna har försöken utförts med användande av det stora vingdonet i de övre nivåerna, varpå en övergång till det normala



vingdonet skett inom nivåintervallet +2 till -5 m. I två av punkterna har kompletterande försök utförts med det normala vingdonet genom hela den undersökta profilen.

Samtliga resultat ligger inom ett relativt smalt band och skillnaden i resultat kan i stort hänföras till naturlig spridning och något olika spänningshistoria i de olika punkterna. Någon inverkan av vingstorleken kan inte spåras. Den ändring i hållfasthetsutvecklingen mot djupet som inträffar strax ovan nivån 0 m är att hänföra till en förändring i jordens karaktär och dess flytgräns sjunker här från cirka 85 till cirka 65 %.

En mer direkt jämförelse kan göras ur resultaten från försöken i punkterna FB4 och FB5, där försök med båda vingstorlekarna utfördes genom hela den undersökta profilen, *figur 9*. Försöken med det stora vingdonet fick dock avbrytas på en högre nivå än de med normalstort vingdon, eftersom maximalt moment uppnåddes i de förstnämnda. Jämförelsen visar att kurvorna för skjuvhållfasthet mot nivå slingrar sig runt varandra utan något tydligt mönster. Jämförs hållfasthetsvärdena på de nivåer där resultat från båda vingstorlekarna använts blir skillnaden i medelvärde mindre än en halv procent oberoende av om medelvärdena av hållfastheten per nivå eller medelvärdet av samtliga hållfasthetsbestämningar betraktas.

Försöken i Nödinge utfördes i ett tidigare undersökt område längs den projekterade sträckningen av nya Riksväg 45, där hållfasthetsundersökningarna givit jämna och repeterbara resultat. Här utfördes vingförsök ned till 12 m djup i 4 närliggande punkter placerade i hörnen av en kvadrat med ca 2 m sida. I två diametralt placerade punkter utfördes försöken med ett normalt vingdon och i de andra två med ett stort vingdon. Jorden består av högplastisk lera.

Resultaten blev mycket jämna och i detta område gav det stora vingdonet genomgående högre värden än det normalstora, *figur 10*. Skillnaden var i medeltal cirka 5 %.

Försöken vid Söderleden utfördes i ett annat väl undersökt område, där de övre jordlagren utgörs av lerig gyttja. Samtliga försök utfördes i denna gyttja, och för att få ett erforderligt statistiskt material utfördes försök i sex punkter. Dessa placerades i två parallella rader med tre punkter i varje och försöken med stort respektive normalt vingdon utfördes i saxade punkter.

# Odränerad skjuvhållfasthet $T_{fu,okorr}$ (kPa)

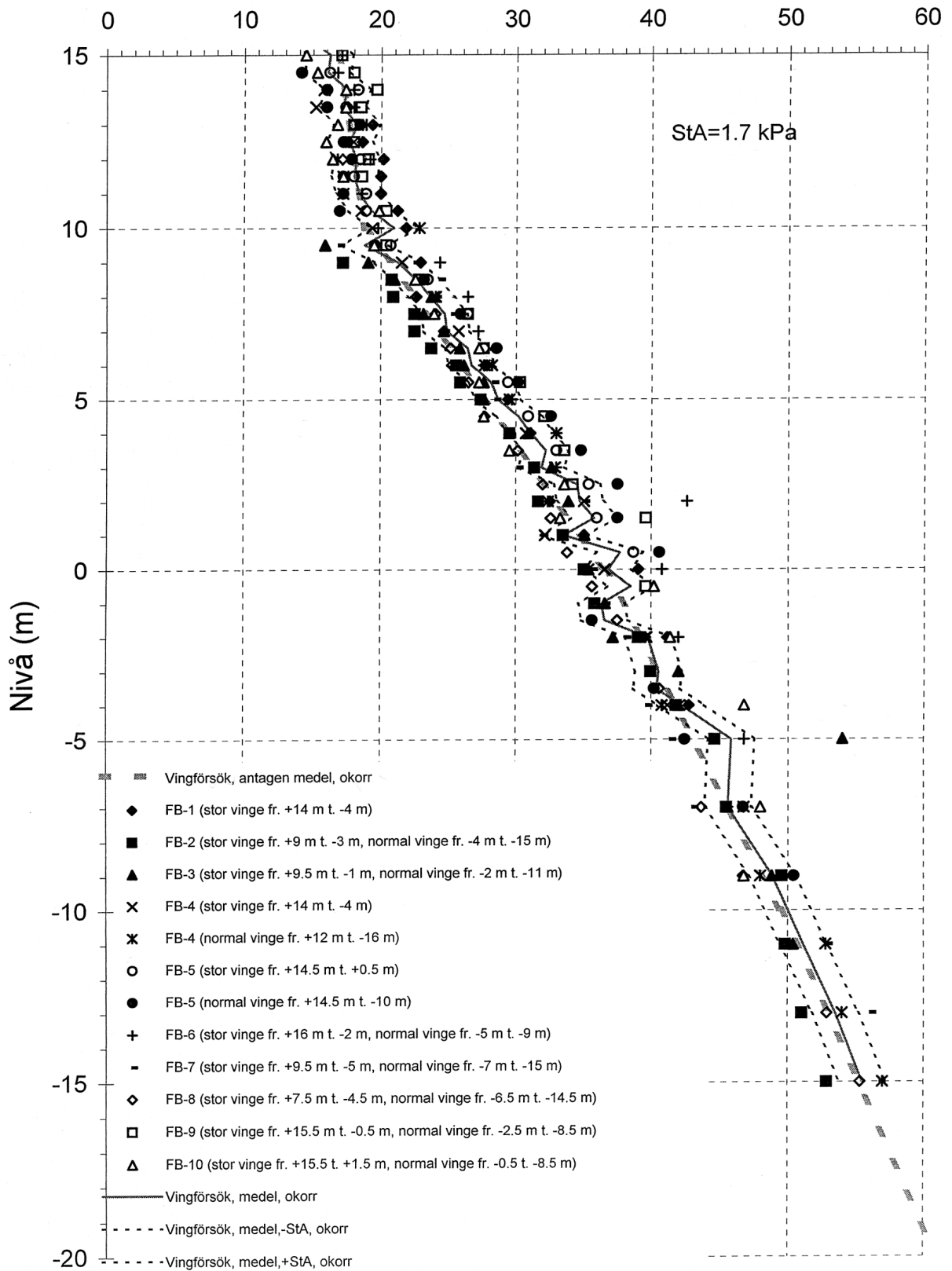


Fig. 8 Resultat av vingförsök vid Kvibergslänken utförda av Flygfältsbyrån.

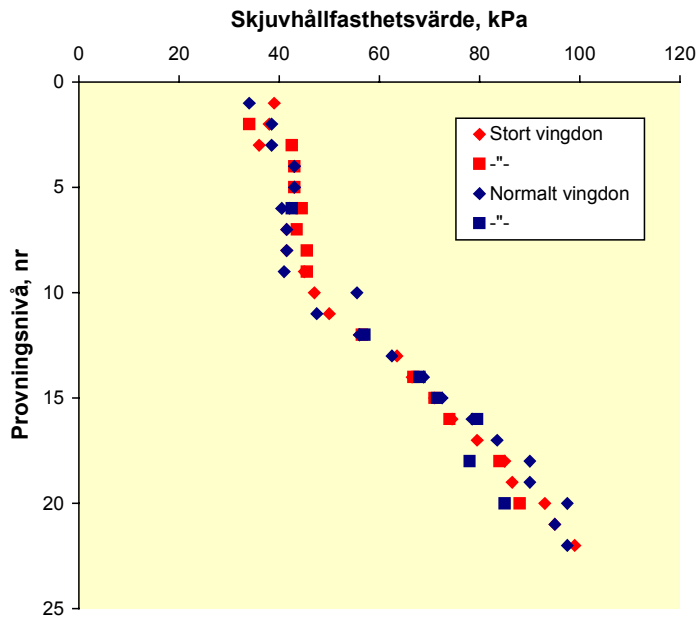


Fig. 9 Jämförande försök med stort och normalt vingdon i punkterna FB4 och FB5 vid Kvibergslänken utförda av Flygfältsbyrån.

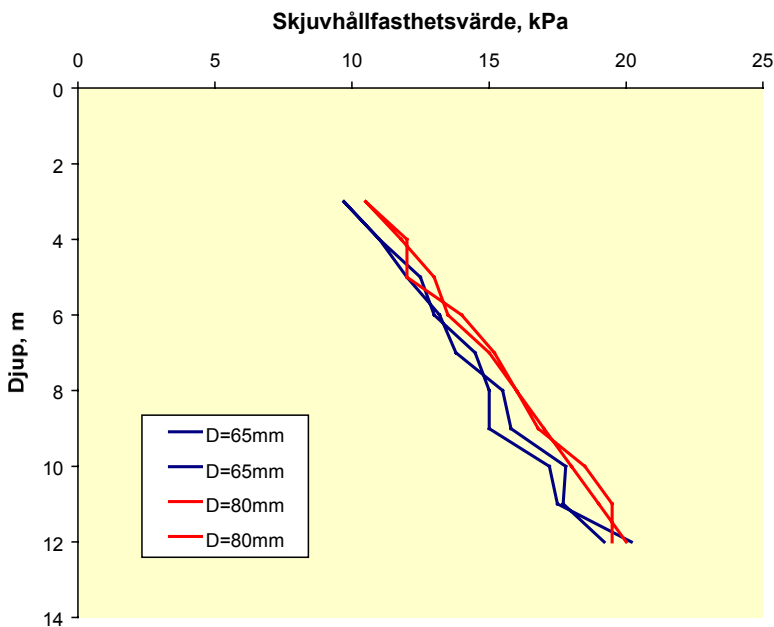
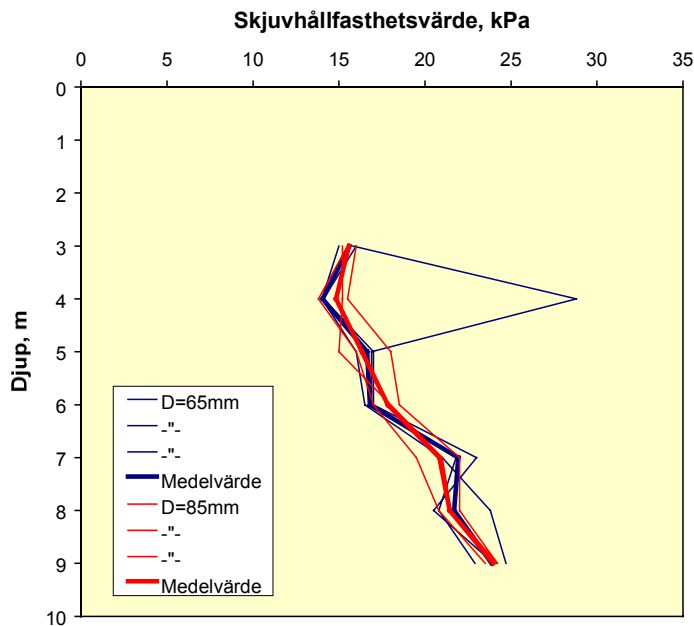


Fig. 10 Jämförande försök med stort och normalt vingdon i högplastisk lera i Nödinge.

Resultaten i gyttjan visade större spridning än i de tidigare undersökta lerorna, bland annat beroende på ett visst skalinhåll, *figur 11*. Ett udda värde fick sorteras bort. Därefter blev skillnaden i medelvärden mindre än en halv procent. Relationen varierade oregelbundet med upp till  $\pm 5\%$  skillnad för olika nivåer, men detta torde bero på slumpen och variationer i jorden snarare än på vingstorleken. I detta fall kan en eventuell minskad störning för det stora vingdonet antas ha kompenseras av den tidigare nämnda effekten av brottytor som går utanför vingdonet i gyttja.



*Fig. 11 Jämförande försök med stort och normalt vingdon i lerig gyttja vid Söderleden.*

## DISKUSSION AV RESULTATEN

Resultaten i denna undersökning visar att i lera erhålls i princip högre hållfasthetsvärden ju större vingdonet är. Detta kan troligen relateras till att den relativa inverkan av störningen vid installationen ökar ju mindre vingdonet är. Skillnaderna är ofta marginella men kan, speciellt för det minsta vingdonet, bli betydande i lättstörd jord.

I gyttjig jord, och troligen också i torv, motverkas denna effekt av att fiberinnehållet i jorden medför att brottytan i försöket kommer att gå en bit utanför vingdonets omskrivna mantelyta. Dessa jordar är samtidigt normalt mindre känsliga för installationseffekter än lerjord. Detta kan medföra det omvända förhållandet att mindre vingdon ger högre hållfasthetsvärden än större.

De uppmätta hållfasthetsvärdena räknas om till odränerad skjuvhållfasthet med empiriska korrektionsfaktorer. Dessa inrymmer effekterna av normal störning och eventuella effekter av avvikelser från den antagna rotationscyklern. Denna empiriska erfarenhet härrör i huvudsak från försök med normalstora vingdon och kompenserar inte för eventuella onormala effekter, som till exempel effekter av vingstorlek.

## SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Ur den genomförda undersökningen kan konstateras att **gamla och nya vingutrustningar gav i princip samma resultat**, detta trots att de jämförande försöken utfördes i en jord som av övriga resultat att döma är relativt lättstörd.

**Ett byte till mindre vingstorlek kan ge påtagligt lägre hållfasthetsvärden.** Detta bör beaktas och om möjligt undvikas. I vad mån den lägre hållfasthetstillväxt på större djup som ofta rapporterats kan relateras till byte av vingdon kan inte bedömas, men man bör vara uppmärksam på problemet.

På grund av att stor stångfriktion dels framtvingar ett tidigare byte av vingdon, dels medför en påtaglig osäkerhetskälla, **bör användande av lätt vingutrustning utan skyddsror undvikas i profiler med fast lera.**

Ett byte till ett **större vingdon medför normalt att spridningen i försöksresultat minskar.** Det kan dock medföra att något annorlunda hållfasthetsvärden erhålls. **Beroende på typ av jord kan värdena vara såväl högre som lägre än de som erhålls med den normalstora vingen.** Vid användande av det större vingdonet, speciellt i lera, **rekommenderas därför att någon form av kalibrering utförs.** Denna kan göras mot kompletterande parallella vingförsök med normalstort vingdon eller/och mot direkta skjuvförsök i laboratoriet beroende på undersökningens karaktär och behovet av noggranna värden på skjuvhållfastheten

## REFERENSER

- [1] Cadling, L. och Odenstad, S. (1950). The Vane Borer - An Apparatus for Determining the Shear Strength of Clay Soils Directly in the Ground. Proceedings No. 2. Statens geotekniska institut, Stockholm.
- [2] Larsson, R. och Mulabdic, M. (1991). Piezocone Tests in Clay. Rapport No. 42, Statens geotekniska institut, Linköping.
- [3] Larsson, R. och Eskilsson, S. (1989). Dilatometerförsök i lera. Varia 243, Statens geotekniska institut, Linköping.
- [4] Hansbo, S. (1957). A New Approach to the Determination of Shear Strength of Clay by the Fall Cone Test. Proceedings No. 14, Statens geotekniska institut, Stockholm.
- [5] Svenska Geotekniska Föreningen (1993). Rekommenderad standard för vingförsök i fält. SGF Rapport 2:93, Linköping.
- [6] European Committee for Standardization, CEN/TC 250/SC7 (1997). Eurocode 7: Geotechnical design - Part 3: Design assisted by field testing. European prestandard, prENV 1997-3, Delft.
- [7] Larsson, R. Bergdahl, U. och Eriksson, L. (1985). Utvärdering av skjuvhållfasthet i kohesionsjord. Information 3, Statens geotekniska institut, Linköping
- [8] Bergdahl, U. (1984). Geotekniska undersökningar i fält. Information 2, Statens geotekniska institut, Linköping.
- [9] Wiesel, C-E. (1975). Bestämning av skjuvhållfasthet med fältvingborr. Varia 25. Statens geotekniska institut, Linköping.
- [10] Golebiewska, A. (1976). Analisa stosowalnosci sondy obtrowej do badania wytrzymalosci gruntow organicznych. Praca doktorska, SGGW-AR. Warszawa / Analys av vingförsök i organisk jord. Doktorsavhandling, Warsaw Agricultural University.





Statens geotekniska institut  
Swedish Geotechnical Institute

SE-581 93 Linköping, Sweden

Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800

Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914

E-mail: [sgi@swedgeo.se](mailto:sgi@swedgeo.se) Internet: [www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se)