

NÅGRA PRAKTISKA KONSEKVENSER AV RESULTATEN
FRÅN FORSKNING I VINGSONDERING

Rolf Larsson

Vingsonden har sedan den introducerades i slutet av fyrtiotalet kommit att bli det vanligaste instrumentet i Sverige för in situ bestämning av odränerad skjuvhållfasthet i lera. Den har fördelen att vara en relativt snabb och enkel metod som ger reproducerbara resultat och över trettio års samlade erfarenhet har lärt oss hur hållfasthetsvärdena kan användas i beräkningar.

En summering av svenska erfarenheter vid SGI 1970 resulterade i SGI:s rekommenderade korrektionsfaktorer för vingsondvärden och en summering av internationella erfarenheter av Bjerrum 1972 och 1973 gav Bjerrums korrektionsfaktorer vilka i stora drag överensstämmer med SGI:s.

Introduktionen av vingsonden hade föregåtts av omfattande undersökningar av Cadling och Odenstad.

Under 60-talet och i början av 70-talet forskades det flitigt i vilka faktorer som påverkade resultaten från vingsondering. Denna forskning bedrevs bl a av Aas och Flaate i Norge, Torstensson och Wiesel i Sverige och Roy i Kanada. Man undersökte inverkan av sondens utseende och varierade höjd, diameter, antal vingar och godstjocklekar. Man undersökte också inverkan av väntetid mellan sondens installation och hållfasthetsprovningen och inverkan av med vilken rotationshastighet själva provningen utfördes.

En del av dessa resultat har rapporterats vid konferenser, andra finns i form av interna rapporter men en stor del finns bara i forskarnas egna hyllor och lådor

och har aldrig rapporterats i samlad form. Detta gäller främst de rent praktiska konsekvenserna och slutsatserna av de samlade erfarenheterna.

Så länge anvisningar och rekommendationer för vingsondutrustningens dimensioner och försökens utförande följs har forskningsresultaten begränsat intresse men om man, som på vissa håll skett, frångår det vanliga förfarandet måste man vara medveten om de fulla konsekvenserna av detta. Det tycks därför finnas anledning att göra en kort resumé av vad som hittills framkommit om olika faktors inverkan på resultaten.

Det är i huvudsak tre olika faktorer som påverkar resultaten från vingsondering:

1. Då vingsonden installeras sker en störning av jorden. Störningsgraden beror på vingsondens utformning och hur känslig jorden är för störningar.
2. Om man väntar en tid efter sondens installation innan hållfastheten provas erhålls ett högre hållfasthetsvärde eftersom jorden då delvis rekonsoliderats och en del av störningseffekten eliminerats. Fullständig rekonsolidering och maximal hållfasthet brukar erhållas inom 24 timmar.
3. Det erhållna hållfasthetsvärdet beror på vilken rotationshastighet som används vid provningen. Ju högre rotationshastighet desto högre hållfasthet erhålls. Vanlig provningshastighet ger brott efter 1-3 minuter. Försök med 1 dygns väntetid utförda vid hastigheter som mer motsvarar realistiska belastningsfall med brott efter 1 dygn till 1 månad ger avsevärt lägre hållfasthetsvärden än motsvarande försök med brott efter 1-3 minuter.

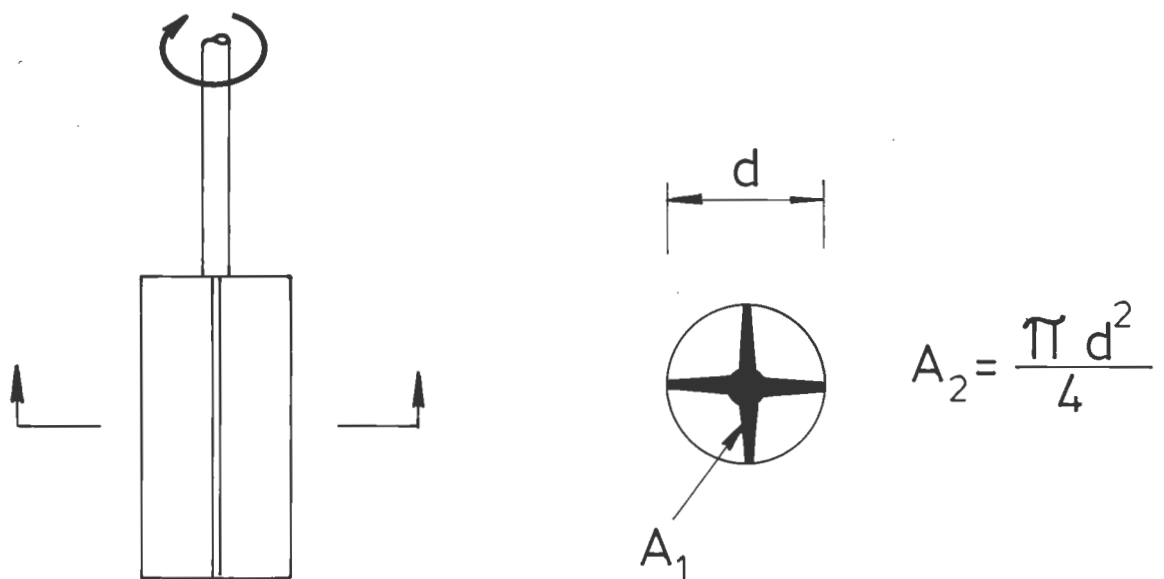
I en utmärkt liten rapport till Statens institut för byggnadsforskning visade Bengt-Arne Torstensson 1976 att

den sammanlagda effekten av ett dygns väntetid och en rotationshastighet som motsvarar normala belastningsfall ger en hållfasthet som är identisk med den som erhålls om man använder sig av standardförfarandet vid vingsondering och korrigerar med Bjerrums korrektionsfaktorer. Med standardförfarandet avses att rotationen påbörjas inom 5 minuter efter installationen och sker med rekommenderad vridningshastighet.

Av någon anledning blev denna rapport ej tryckt och de kanske mest praktiskt användbara och "matnyttiga" resultaten av den samlade vingsondforskningen förblev opubliserade.

Inverkan av sondens utförande

Det har visat sig att sondens utförande har en stor betydelse. En vingsond med stor godstjocklek i vingarna och ett kraftigt centrumnav ger en större störning än en sond med klenare konstruktion. Störningsgraden tycks vara relaterbar till förhållandet mellan sondens tvärsnittsarea A_1 och tvärsnittsarean av den vid provningen roterade lercylindern A_2 .



Ju mindre A_1 är i förhållande till A_2 desto mindre blir störningen vid installationen.

För att få en jämnare spänningsfördelning i skjuvytan har försök utförts med vingsonder med fler vingar än standardvingens fyra. Dessa sonder har dock inte medfört någon förbättring då förhållandet A_1/A_2 med nödvändighet blir större i dessa fall.

Stora försöksserier har också utförts med sonder med olika förhållanden mellan höjd och diameter och med diamantformade vingar för att undersöka hållfasthetsanisotropin. Huruvida man verkligen kan göra detta med vingsondering med tanke på alla inverkanse faktorer och vad man egentligen mäter kan diskuteras och görs så. Vad som är odiskutabelt är att man får olika hållfasthetsvärden om förhållandet mellan höjd och diameter på sonden varierar.

I Sverige används alltid vingsonder med förhållandet 2:1 mellan höjd och diameter och den empiriska erfarenheten är uppbyggd med denna typ av vinge. Detta förhållande bör således inte ändras. Det finns i dag två typer av vingsondutruster i bruk; Vingsond typ SGI där sonden under större delen av neddrivningen är indragen i en skyddskåpa och vingsond typ Nilcon/Geotech där vingsonden drivs ned direkt i jorden. Då den senare typen är oskyddad under neddrivningen har utförandet fått göras något robustare än SGI-sonden med ett något högre areaförhållande. I gengäld har Torstensson funnit att vid rekommenderade vridningshastigheter sker brott ca 3 ggr snabbare med Nilcon/Geotechsonden än med SGI-sonden och resultaten synes likvärdiga. Ett möjligt undantag är mycket störningskänsliga jordar där resultaten kan skilja.

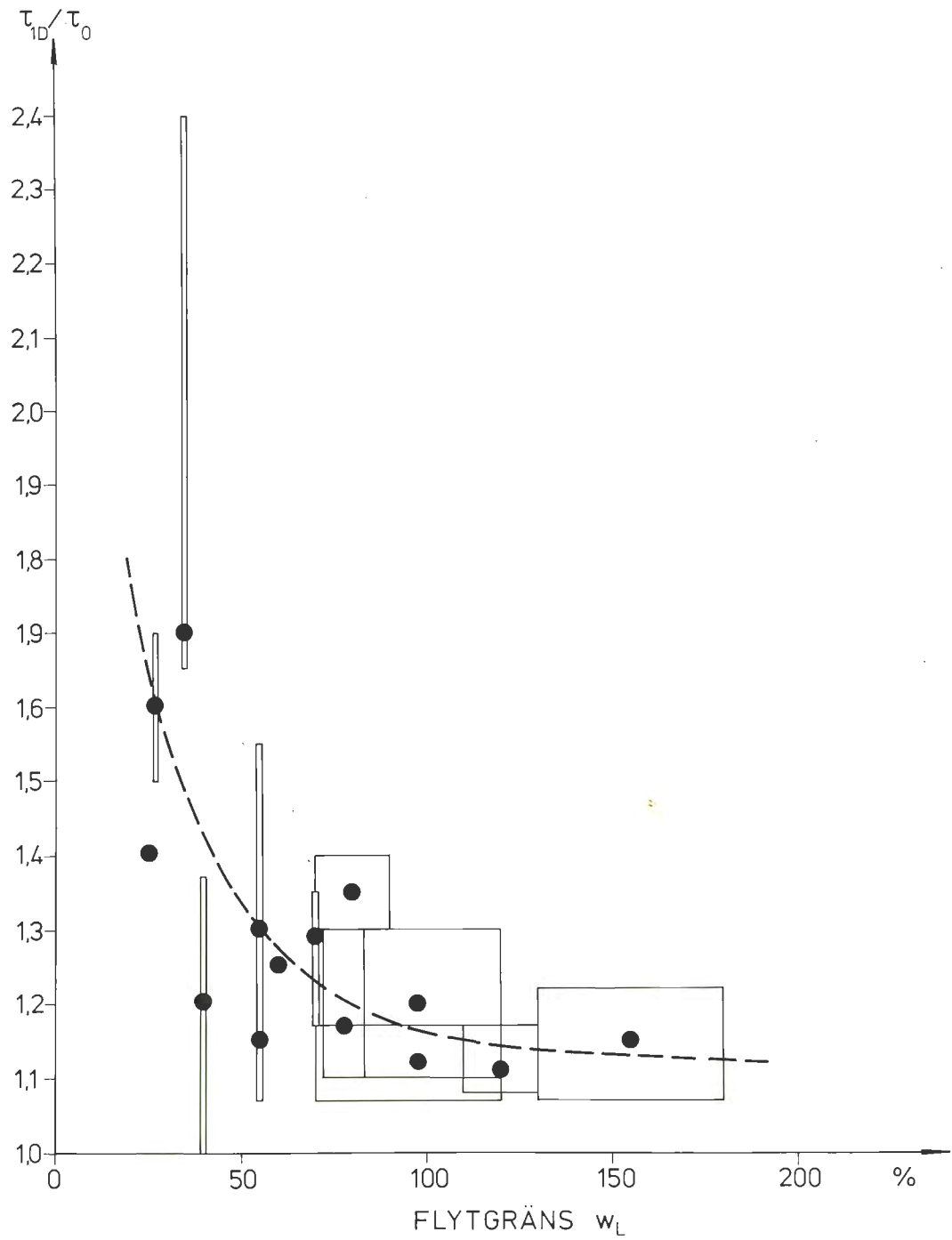
SGI-sonden är en relativt tung utrustning medan Nilcon/Geotech sonden är mycket lätthanterlig. Å andra sidan torde SGI-sonden störa mindre och skrapas dessutom ren efter varje provningstillfälle. Ett problem med Nilcon/

Geotech sonden är risken att lera från ett styvare lager skall häfta vid sonden och följa med ned i lösare lager. I så fall förändras areaförhållandet och stora störningar uppstår. Man bör därför alltid förborra genom torrskorpan då Nilcon/Geotech sonden används. Även då kan problem uppstå i skiktad eller varvig störningskänslig jord.

Inverkan av väntetid

Då man varit medveten om att vingsonden förorsakar en störning vid installationen har försök utförts med olika väntetid efter installationen innan själva hållfasthetsprovningen startats. Det har visat sig att ju längre man väntar desto högre blir den mätta hållfastheten upp till en viss väntetid varefter hållfastheten blir konstant. Detta antas bero på att leran rekonsoliderar och porövertrycken som uppstår vid installationen av sonden utjämnas. Denna rekonsolidering tycks ske inom 24 timmar. Någon fullständig återanpassning till "in situ" förhållandet är det knappast då en viss sidoförskjutning och volymminskning måste ske för att kompensera för sondens volym.

De undersökningar som utförts med variation av väntetid och rotationshastigheter vid vingsondering har sammanställts i Tabell 1. Som framgår av tabellen varierar relationen mellan hållfastheten mätt med standardhastighet efter 1 dygns väntetid, τ_{1D} , och hållfastheten mätt med standardförfarandet med samma hastighet men utan väntetid, τ_0 , mellan i medeltal 1,12 till 1,7 med extremvärden mellan 1,0 till 2,4. Plottas relationen τ_{1D}/τ_0 mot flytgränsen finner man att relationen markant ökar med minskande flytgräns, Fig 1. Dessutom ökar spridningen i relationen med minskande flytgräns.



Figur 1.

Tabell 1. Resultat från undersökningar med variation av väntetider och rotationshastigheter vid vingsonering.

Plats	τ_{1D}/τ_0	w_L	I_p	β	Ref
Bäckebo	1,17 (1,1-1,3)	72-83	50-60	0,05	Torstensson
Askim	1,11 (1,08-1,17)	110-130	80-90	0,05	Torstensson
Manglerud	1,6 (1,5-1,7)	26-27	8	0,04	Aas + Torstensson
Tönsberg	1,18 (1,0-1,37)	40	17	}	NGI internt
Lierstranda	1,40	25	6		
Seut	1,25	60	35	}	Flaate
Seut	1,7 (1,65-2,4)	35	12		
Kjölberg	1,29 (1,17-1,35)	70	50	}	Wiesel
Skå Edeby 1	1,12 (1,07-1,17)	80 (70-120)	35-65		
	1,2 (1,1-1,3)				
Skå Edeby 2	1,15 (1,07-1,22)	55	30	0,03	
	1,3 (1,1-1,55)				
Kalix	1,15 (1,07-1,22)	130-180	100-130	0,045-0,055	}
Upplands-Väsby	1,35 (1,3-1,4)	80 (70-90)	50-70		

Resultaten indikerar att lågplastiska siltiga leror är mera lättstörda än högplastiska leror vilket är i överensstämmelse med andra erfarenheter. Ökningen i spridningen indikerar att faktorer som relativa variationer i flytindex, varvighet, rapiditet etc som generellt är störst i lågplastiska leror också inverkar. Dessutom torde lerans överkonsolideringskvot starkt inverka på relationen τ_{1D}/τ_0 även om det inte studerats. Det finns således inget enkelt samband för störningsgraden vid installation av vingsonden utom att den tycks öka med minskande flytgräns.

Inverkan av rotationshastighet

Inverkan av rotationshastigheten på den mätta hållfastheten har studerats vid försök med 1 dygns väntetid. Väntetiden har här varit nödvändig för att särskilja effekter av rekonsolidering och minskande rotationshastighet.

I de flesta undersökningarna har man för rotationshastigheter som gett tider mellan 1 minut och 1 månad till brott funnit ett samband mellan de mätta hållfastheterna och tiden till brott som kan skrivas

$$\tau_t / \tau_1 = \left(\frac{t}{t_1} \right)^{-\beta}$$

där

τ_t är den mätta hållfastheten vid en rotationshastighet som ger tiden t till brott

τ_1 referenshållfasthet mätt vid en rotationshastighet som ger tiden t_1 till brott

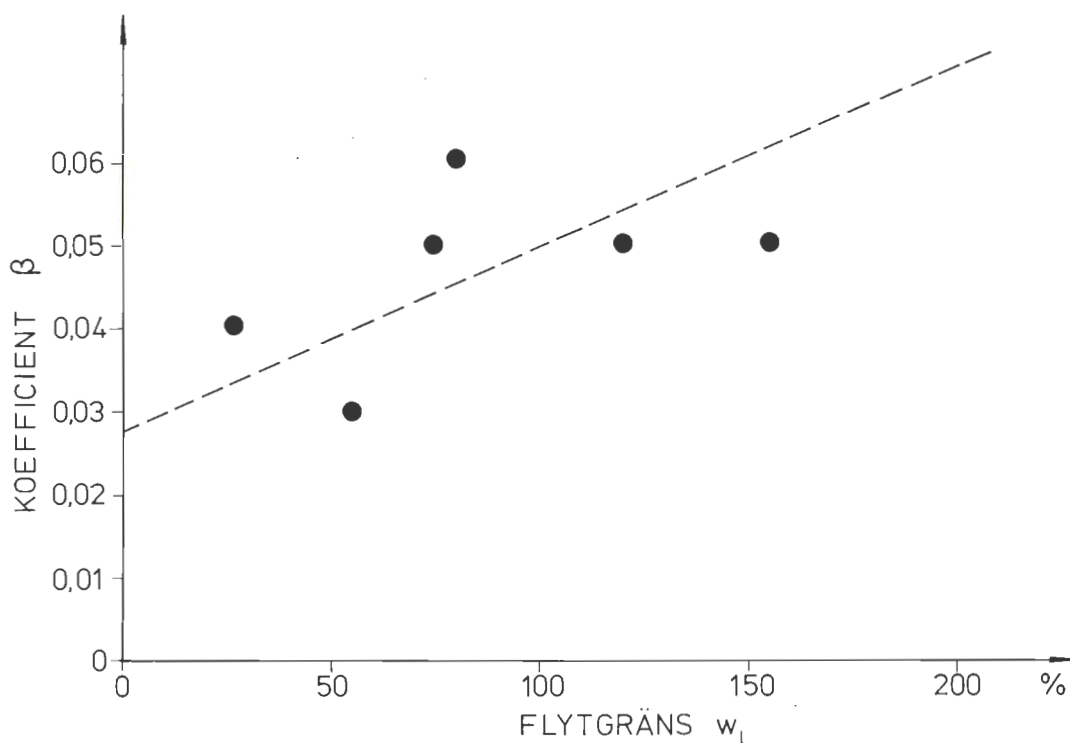
t_1 referenstid vanligen 1-3 minuter

β koefficient

Koefficienten β har för de undersökta i huvudsak normal-konsoliderade lerorna befunnits variera mellan 0,03 och 0,06 med ett medelvärde av 0,05 (Tabell 1). Plottas koefficienten β mot flytgränsen kan en tendens till ett minskande β -värde med minskande flytgräns urskiljas, Fig 2.

Ett normalt tidsperspektiv på varaktigheten av ett odränerat tillstånd torde ligga mellan någon dag och någon eller några månader. Detta betyder att en hållfasthet som uppmätts efter 24 timmars väntetid och med en rotationshastighet som gett brott efter 1-3 minuter måste korrigeras med faktorer som i medeltal varierar mellan 0,6 och 0,7 för att praktiskt användbara hållfastheter skall erhållas.

Antas den streckade relationen mellan β och w_L i Fig 2 gälla skall motsvarande värden korrigeras med faktorer mellan 0,65-0,75 för lågplastiska och faktorer mellan 0,45 och 0,6 för högplastiska leror. Korrektionsfaktorerna beror förutom på β -värdet på belastningsfallet, dräneringsvägarna och lerans kompressibilitet, permeabilitet och krypbenägenhet då dessa faktorer bestämmer ur vilket tidsperspektiv hållfastheten skall beaktas.

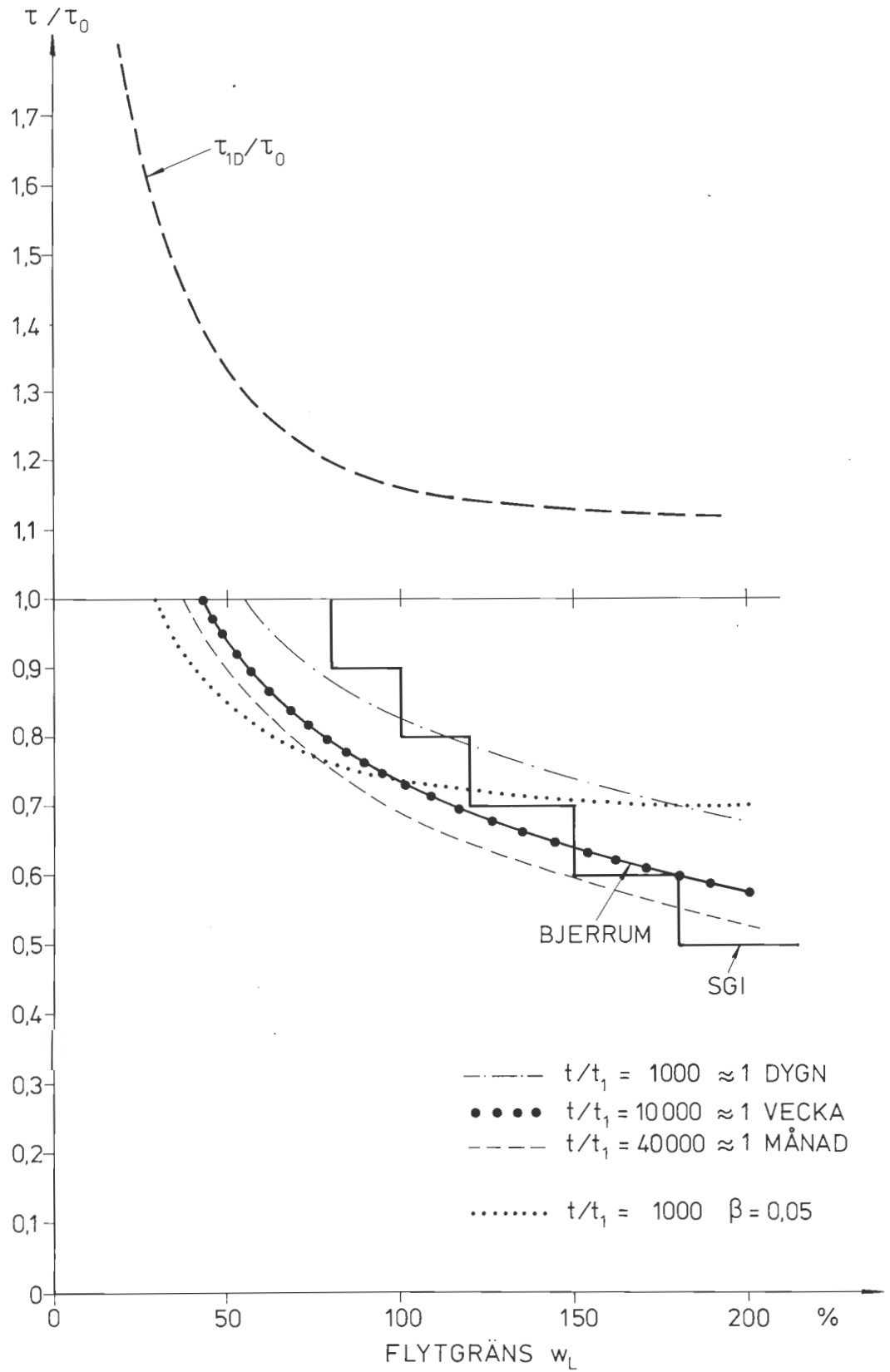


Figur 2.

Om den hållfasthet som empiriskt erhålls vid vingsonde-ring med väntetiden 24 timmar och med vanlig rotations-hastighet korrigeras för ett tidsberoende enligt den streckade kurvan i Fig 2 erhålls hållfastheter för en tid till brott mellan 1 dygn och 1 månad enligt Fig 3. Av figuren framgår att den så erhållna hållfastheten för en tid till brott av en vecka är identisk med den hållfasthet som erhålls vid vanliga vingsondförsök där hållfastheten korrigerats enligt Bjerrum.

Ett antagande att β är konstant 0,05 ger hållfasthetsvärden i rätt storleksordning men ger något höga hållfastheter för högplastiska leror och något låga hållfastheter för lågplastiska leror jämfört med erfarenhetsvärdena.

Genom att vänta 24 timmar och låta leran rekonsolidera och sedan utföra hållfasthetsprovingen vid en hastighet som är relevant för praktiska förhållanden kan man så-



Figur 3.

ledes komma fram till i stort sett samma hållfasthetsvärden som erhålls vid vanlig vingsondering och användning av de empiriska korrektionsfaktorerna för vingsondvärden. Av de senare har vi i dag över trettio års erfarenhet medan det enda som kan sägas om de förras relevans är att de tycks ge i stort sett samma värden.

Det är därför svårt att se att det skulle vara någon förbättring av vingsondförsöket att vänta 24 timmar för att "eliminera" störningseffekter innan sonden roteras. Detta förfarande eliminerar dessutom vingsondens stora fördel som en enkel, snabb och relativt billig metod. Om vingsonderingen trots allt utförs på detta sätt måste man vara medveten om att endast 45-75% av den så uppmätta hållfastheten kan användas i vanliga beräkningar.

En bieffekt av den här studien är att de korrektionsfaktorer vi använder till största delen tycks vara tids-effekter. Vid vingsondering i lågplastiska leror störs leran så mycket vid installationen av sonden att det på vanligt sätt erhållna hållfasthetsvärdet inte behöver reduceras ytterligare. I högplastiska leror däremot är störningen så måttlig att även den något störda hållfastheten måste reduceras.

LITTERATUR

- Aas, G, 1965, A study of the effect of the shape of vane and rate of strain on in situ shear strength of clays. Proceedings, 5th Int. Conf. on Soil Mech. and Found Eng., Vol 2, Montreal.
- Bjerrum, L, 1973, Problems of Soil Mechanics and construction on soft clay. Proceedings, 8th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol 3, Moskva.
- Cadling, L & Odenstad, S, 1950, The Vane Borer. An Apparatus for Determining the Shear Strength of Clay Soils Directly in the Ground. SGI, Proceedings, No 2, Stockholm.
- Dahlberg, R, 1966, A field test and comparative laboratory tests for determination of shear strength of clays. Opublicerad.
- Flaate, K, 1966, Factors Influencing the Results of Vane Tests. Canadian Geotechnical Journal, Vol 3, No 1.
- LaRochelle, P, Roy, M & Tavenas, F, 1973, Field measurements of cohesion in Champlain Clays. Proc. 8th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol 11.1, Moskva.
- Larsson, R, 1980, Undrained shear strength in stability calculation of embankments and foundations on soft clays.
- Norges Geotekniske Institutt, 1965, Resultater av "Controlled strain"-vingeborringer med forskjellig rotationshastighet i kvikkleire. Manglerud III. Intern rapport F.264.2, Oslo.
- Olsson, T & Sällfors, G, 1979, Advantages and disadvantages with the field vane test. 32 Canadian Geotechnical Conference, Quebec.

Roy Marius, Personlig kommunikation.

Torstensson, B-A, 1976, Studier av tidseffekter vid skjuvhållfasthetsbestämning med vingborr. Opublicerad. Personlig kommunikation.

Torstensson, B-A, 1977, Time dependent effects in the field vane test. Proceeding, Int. Symp. on Soft Clay, Bangkok.

Wiesel, C-E, 1973, Some factors influencing in-situ vane test results. Proceedings, 8th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol 1.2, Moskva.

Wiesel, C-E, 1975, Bestämning av skjuvhållfasthet med fältvingborr. Opublicerad. Personlig kommunikation.