





# Falkkonförsöket och Konflytgränsen

Per Carlsson  
MRM LAB




## Två nya notat publicerade



Svenska Geotekniska Föreningen  
Swedish Geotechnical Society

SGF Notat 1:2018  
**Konflytgränsen**  
SGF:s Laboratorierkommitté

Linköping 2018



Svenska Geotekniska Föreningen  
Swedish Geotechnical Society

SGF Notat 2:2018  
**Falkkonförsöket**  
SGF:s Laboratorierkommitté

Linköping 2018

2019-04-25 SGF 2

## Varför?

- Skillnad mellan svensk standard/praxis och SS-EN
- Fallkonförsöket
  - fd SS: Konfaktorer ”kalibrerade” mot fältvingförsök
  - Nuv SS-EN: Konfaktorer ”kalibrerade” mot labvingförsök
- Konflytgränsen
  - fd SS: enpunktsbestämning för konintryck 7-14,9 mm
  - Nuv SS-EN: flerpunktsbestämning rekommenderas (men enpunktsbestämning kan användas om underlag finns)

2019-04-25

SGF



3

## Fallkonförsöket

- Historik - SJs kommission 1920-talet
- Hållfasthetstal
  - H1 omrörda
  - (H2 delvis ostörd)
  - H3 ostörda
- Ändra vikten till 10mm med 60/60 kon
- Vattenkvot – finlekstal
- Hållfasthetstalet – inget värde
- Inga försök på att utvärdera skjuvhållfasthetsvärden



Figur 2. Konapparat (ur Olsson, 1921).

2019-04-25

SGF



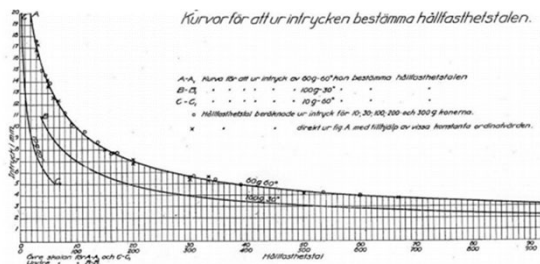
4

## Fallkonförsöket

- Historik - SJs kommission 1920-talet



Figur 2. Konapparat (ur Olsson, 1921).



Figur 3. Geotekniska kommissionens graf för utvärdering av det relativa hållfasthetstalet ur erhållet konintryck (ur SJ, 1922).

2019-04-25

SGF

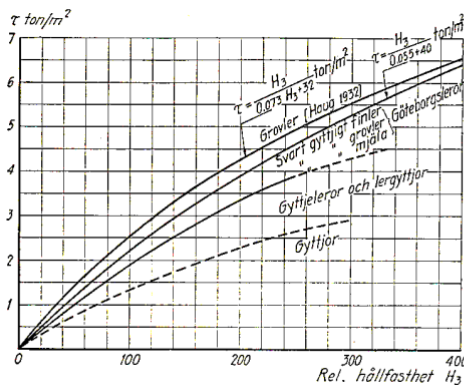
5

## Fallkonförsöket

- Historik
- Arbete med korrelera talet till skjuvhållfasthet
- Olika studier gjordes vidare i Sverige och Norge



Figur 2. Konapparat (ur Olsson, 1921).



Figur 4. Relation mellan hållfasthetstal och skjuvhållfasthet (ur Caldenius, 1938).

2019-04-25

SGF

6

## Fallkonförsöket

- Historik - Hansbo 1957
- Omständigt, ej vetenskapligt via H-talet
- Studier på SGI  
djupgående teoretisk analys  
filmning med höghastighetskamera för  
att studera plasticering kring konen  
jämförelse och kalibrering med fältvingförsök



Figur 2. Konapparat (ur Olsson, 1921).

$$\tau = K \frac{mg}{i^2}$$

$\tau$  = skjuvhållfasthet (kPa)  
 $K$  = konstant (konfaktor)  
 $m$  = konens vikt (g)  
 $g$  = tyngdacceleration (9,81 m/s<sup>2</sup>)  
 $i$  = konintryck (mm)

2019-04-25

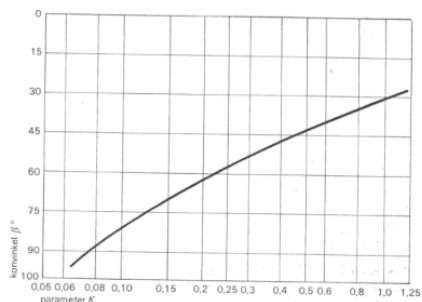
SGF



7

## Fallkonförsöket

- Historik - Hansbo 1957
- Konfaktor, ostörda



Figur 6. Konfaktor som funktion av konens spetsvinkel (för prover tagna med standardkolvprovtagaren), ur Hansbo (1975).

- Konfaktor, störda 0,3



Figur 2. Konapparat (ur Olsson, 1921).

2019-04-25

SGF



8

## Fallkonförsöket

### • Historik - Kolvborrkommitté 1963

- Ta fram en standardiserad provtagare
- Enhetligt arbete och kvalitet i branschen
- Erhålla jämförande resultat från skjuvhållfasthetsprovning
- Resultatet blev, St I, 1961
- Provisoriska rekommendationer,  
 $w_l \sim w_n$   
 djup ca 5 – ca 20m
- Rekommenderade "SGIs äldre formel"
- Konfaktor 0,9



Figur 2. Konapparat (ur Olsson, 1921).



2019-04-25

SGF

9

## Fallkonförsöket

### • Historik - Kolvborrkommitté 1963

- Upprättade tabeller  
 intryck mellan 2,0 och 19,9 mm  
 konerna 100g-30°, 60g-60° och 10g-60°  
 100g konen för ostörda prover  
 60g och 10g för störda prover
- 400g provades inte
- Redovisa okorrigerade värden
- Förslag att byta från okulära jordartsbenämningen till konflytgränsen för korrektion
- Fastslags 1969



Figur 2. Konapparat (ur Olsson, 1921).



2019-04-25

SGF

10

## Fallkonförsöket

### • Historik – Laboratieanvisningar 1985

- 1980-talet framtogs ett antal detaljerade laboratieanvisningar för de vanligaste förekommande laboratiemetoderna
- **Skjuvhållfasthet**, utarbetad år 1985
- Införde Hansbos utvärdering
- Konfaktor 1,0 för 30°
- Konfaktor 0,25 för 60°
- 400g togs med
- Intryck mellan 5,0 och 19,9 mm (2,0-5,0 visade på stor skillnad)
- Låg till grund för SS 02 71 25 år 1991



Figur 2. Konapparat (ur Olsson, 1921).



11

## Fallkonförsöket

### • Historik – Labkommittén 2001

- Undersöka övergång mellan 100/400g
- Misstänkte att 100g överskattade värdet nära 5 mm
- Överskattade i genomsnitt ca 15% för intryck mellan 5 och 7mm
- Rekommendation 7-20mm för 100g
- Inte inarbetats i någon reviderad standard



Figur 2. Konapparat (ur Olsson, 1921).



12

## Fallkonförsöket

- Internationell praxis
- Fallkonförsök för bestämning av skjuvhållfasthet  
Sverige, Finland, Norge, delvis Kanada
- Storbritannien, Japan och USA  
Utretts som möjlig metod  
Ansett inte ge tillräckligt representativa och  
tillförlitliga resultat

2019-04-25 SGF 13

## Fallkonförsöket

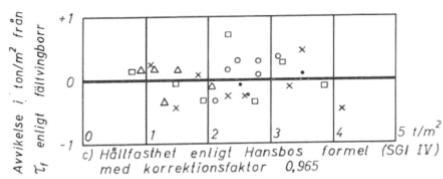
- **Skillnader**
- Inte bara prover från kolv (provning i tub)
- Prover som trycks ut eller trimmats  
också ostörda
- Betraktas som ett indexvärde
- Omrörda skjuvhållfastheten, ingen skillnad
- Stora skillnader på konfaktorn **K**

2019-04-25 SGF 14

## Fallkonförsöket

- fd SS
  - Intakta prover
  - Fältvingförsöket (*förutsätter Stl*)

$$\tau = K \frac{mg}{i^2}$$



Figur 13. Underlag för val av konfaktor K = 1,0 för standardkolvprovtagaren Stl, ur SGFs kolborrkommitté (1963), ostörd lera och med 100g-30°-kon.

2019-04-25

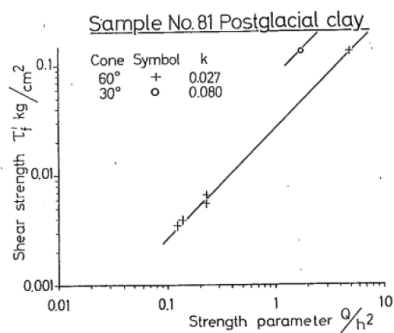
SGF

15

## Fallkonförsöket

- Nuv SS-EN (Rudolf Karlsson 1961)
  - Omrörda prover
  - Laborierievingsförsök

$$\tau = K \frac{mg}{i^2}$$



2019-04-25

16



## Fallkonförsöket



- Skillnader

Tabell 3. Sammanställning av ett antal i litteraturen redovisade konfaktorer

Lerans tillstånd	Konvinkel	Bakgrund till f d SS				Bakgrund till SS-EN	
		Hansbo (1957)	Kallstenius (1963)	SGF (1963)	Wood (1985)	Karlsson (1961)	Koumoto & Housby (2001) <sup>1</sup>
Omrörd	30°	-	-	-	0,85	0,8	1,33
	60°	0,30	-	-	0,29	0,27	0,31
Ostörd	30°	0,8 / 1,0 <sup>2</sup>	1,0	1,0	-	-	-
	60°	0,2 / 0,25 <sup>3</sup>	-	-	-	-	-

<sup>1</sup> Teoretiska värden baserade på att adhesionen längs konen är halva värdet av skjuvhållfastheten.

<sup>2</sup> För provtagare SGI IV var  $K = 1,0$  och för SGI VI var  $K = 0,8$ . Enligt Kallstenius (1963) var  $K = 1,0$  för St I.

<sup>3</sup> För provtagare SGI IV var  $K = 0,25$  och för SGI VI var  $K = 0,2$ .

2019-04-25

SGF

17

## Fallkonförsöket



- Skillnader

Konvinkel	Konvikt	SS 027125		SS EN 17892-6 <sup>1</sup>	
		Konfaktor	Skjuvhållfasthetsintervall	Konfaktor	Skjuvhållfasthetsintervall
30°	400 gr	1,0	9,8 – 157 kPa	0,8	7,8 – 126 kPa
	100 gr		2,5 – 20 kPa		2 – 16 kPa
60°	60 gr	0,25	0,37 – 5,9 kPa	0,27	0,4 – 6,4 kPa
	10 gr		0,06 – 0,98 kPa		0,07 – 1,06 kPa

$$\tau_{SS-EN} = 0,8 \times \tau_{SS} \quad (30^\circ\text{-koner})$$

$$\tau_{SS-EN} = 1,08 \times \tau_{SS} \quad (60^\circ\text{-koner})$$

2019-04-25

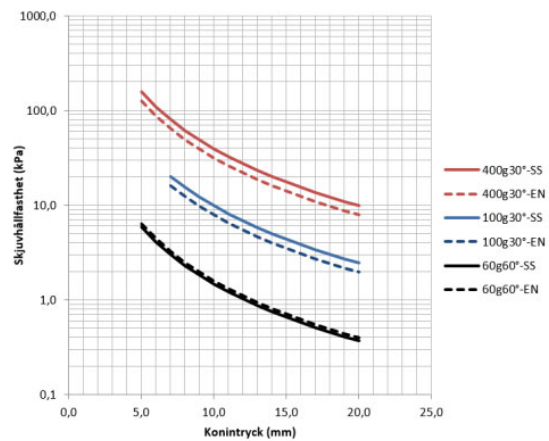
SGF

18

## Fallkonförsöket



### • Skillnader



Figur 9. Jämförelse av beräknad skjuvhållfasthet med konfaktorer enligt SS 0207125 (heldragna linjer) och SS EN 17892-6 (streckade linjer).

2019-04-25

SGF

19

## Fallkonförsöket



### • Skillnader

- Skjuvhållfasthet lägre med nya standarden
- Omrörd skjuvhållfasthet högre med nya standarden
- Sensitivitet blir lägre än tidigare

2019-04-25

SGF

20

## Fallkonförsöket



- Notat - rekommendation
- Konfaktorer enligt fd SS
- Provning med ostörda prover syftar till att utvärdera jordens skjuvhållfasthet in situ
- Omfattande underlag av svenska leror
- Svensk praxis baseras sedan 1980 talet på dessa Korrigeringsfaktor, riktlinjer, handböcker m m.
- Dubbel redovisning av skjuvhållfasthet
- Prov kvar i hylsan
- Avläsning till närmaste 0,1 mm
- 5,0-19,9 mm, undantaget 100g-30° 7,0-19,9 mm

2019-04-25

SGF

21

## Bakgrund konflytgränsen



- Historik - Atterbergs konsistensgränser
- Jordbruk / keramik
- Lerors formbarhet – plasticitet, styvhet, vattenbind.förmåga

Tabell 1. Ursprungliga konsistensgränser enligt Atterberg (1911)

Atterberg (1911)	Engelsk översättning av Casagrande (1932a)
Öfre trögflytbarhetsgränsen	Upper limit of viscous flow
Vattentäthetsgränsen	-
Nedre trögflytbarhetsgränsen / flytgränsen	Lower limit of viscous flow (liquid limit)
Klibbgränsen	Sticky limit
Utrullgränsen	Rolling limit (plastic limit)
Gränsen för sammanpackbarhet	Cohesion limit
Krympningsgränsen	Shrinkage limit

- Den nedre trögflytbarhetsgränsen, eller av Atterberg enbart också kallad flytgränsen, definierades som vattenkvoten då en fåra i en lerfylld skål sluts genom ett antal upprepade häftiga slag mot handens insida.

2019-04-25

SGF

22

## Bakgrund konflytgränsen



- Historik - SJ finlekstal
- Flytgräns endast vid påträffande av torrskorpelera
- Lösare leror, finlekstalet  
Ju finkornigare jord, desto mer vatten kan den hålla vid lika konsistens
- Fallkonmetoden för att bestämma skjuvhållfasthet - konsistens

$$w_F = \frac{w}{J}$$

där  $w_F$  = finlekstalet  
 $w$  = Uppmätt vattenkvot  
 $J$  = Jämförelsetal

2019-04-25

SGF

23

## Bakgrund konflytgränsen



- Historik- Casagrandes stötflytgräns
- Mekanisera Atterbergs handmetod
- Flytkurva
 
$$w = -F \times \log N + C \quad \text{Ekv. 3}$$

där  $w$  = vattenkvot (% eller dec)  
 $F$  = flytindex (flytkurvans lutning)  
 $N$  = antal slag (st)  
 $C$  = konstant (% eller dec)
- Flerpunktsbestämning, avläsa stötflytgränsen

2019-04-25

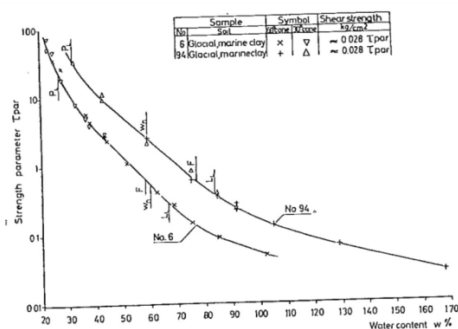
SGF

24

## Rudolf Karlssons konflytgräns



- Enpunktsbestämning



$$w_L = \frac{1,8 w_i + 17 \log(i/10)^2}{1,8 + \log(i/10)^2}$$

$$w_L = M \cdot w_i + N$$

Figur 5. Exempel på konsistenskurva för en glaciallera (ur Karlsson, 1961). F = finlektal (konflytgräns), L = stötflytgräns (Casagrande) och  $w_n$  = naturligt vattenkvot.

2019-04-25

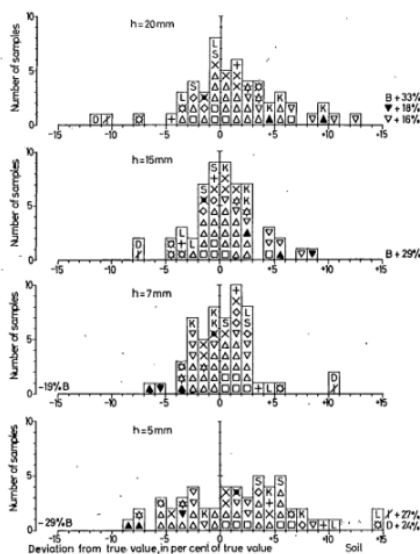
SGF

25

## Rudolf Karlssons konflytgräns



- Enpunktsbestämning jmf flerpunktsbestämning



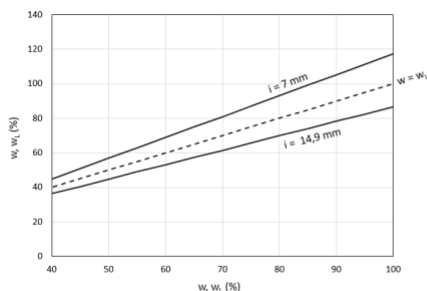
2019-04-25

26

## Rudolf Karlssons konflytgräns



- Enpunktsbestämning jmf flerpunktsbestämning
- Begränsade intrycken 7-14,9 mm
- Felet mindre än +/- 5%



Figur 17. Tillåtet spann för uppmätta konintryck för enpunktsbestämning och resulterande skillnader i vattenkvot.

2019-04-25

SGF

27

## Utdrag ur notat konflytgräns



### • Rekommendation

- Den har använts i svensk praxis i princip utan undantag i Sverige sedan 1960-talet;
- I princip all forskning sedan 1960-talet har utförts med enpunktsbestämning och därmed baseras alla empiriska korrelationer som innefattar konflytgränsen på enpunktsbestämningen;
- Enpunktsbestämning har enligt Karlsson (1961) visat sig stämma överens med flerpunktsbestämning med en variation av ca  $\pm 5\%$ .

### • Flerpunktsbestämning

Flerpunktsbestämning bör dock utföras vid följande förutsättningar:

- Jordar med en vattenkvot som skiljer mer än 40 %-enheter från konflytgränsen (bestämd med enpunktsbestämning)
- Torv (om konsistensgränser bedöms relevanta)
- Bentonitleror
- Smektitrika leror
- När större noggrannhet krävs av bestämningen

2019-04-25

SGF

28

## Utdrag ur notat konflytgräns



- Utvecklingsbehov

- Prover med vattenkvot betydligt lägre än konflytgränsen, t ex torrskorpelera;
- Prover med vattenkvot betydligt högre än konflytgränsen, d v s högsensitiva och kvicka leror;
- Jordprover av lera med konflytgräns över 150 %.
- Uppblötning av jordprover med destillerat vatten eller kranvatten;
- Uttorkning av jordprover på gipsplatta, torkduk eller glas;
- Påverkan av lagring och oxidering.