

# 8 PROVBELASTNING AV PLATTOR

## 8.1 Allmänt

I vissa fall kan provbelastning av plattor (plattförsök) vara motiverad för bestämning av deformationsegenskaper, hållfasthet och bärförmåga, t ex när utförda beräkningar baserade på olika sonderings- och/eller undersökningsmetoder givit mycket olika resultat. Så även när typen av jord/berg är otillräckligt känd och således användandet av empiriska eller semi-empiriska samband blir osäkra. En stor fördel med plattförsök är den relativt stora jordvolym som påverkas varvid makrostrukturens inverkan beaktas, förutsatt att plattor med någorlunda storlek används.

Plattförsök kan bli aktuella t ex i friktionsjord, packad jord, starkt överkonsoliderad jord, lermorän, fyllningar och annan heterogen jord samt i konstmaterial (t ex lättklinker, ask- och slaggprodukter).

Provbekastning bör planeras och utföras av personal med erforderliga kunskaper om jords beteende samt vana vid förekommande försöksutrustning, redovisning och utvärdering. I detta kapitel behandlas ett antal frågeställningar som är förknippade med plattförsök.

Direkt dimensionering på basis av provningsresultat, dimensionering genom provbelastning, får enligt NR1 endast utföras i GK3.

Dimensioneringsgången vid direkt dimensionering av grundplattor genom plattförsök kan stegvis sammanfattas enligt följande:

- Val av försöksplats (plan, djup)
- Val av plattdimension(-er)
- Val av försöksutförande (laststeg: storlek, antal, tid)
- Redovisning och utvärdering av försöksresultat
- Dimensionering genom provning

Platfförsök kan alternativt utnyttjas så att jordparametrar utvärderas ur försöken med hjälp av vissa beräkningsmodeller. Dessa karakteristiska parametrar kan användas för dimensionering i brott- och bruksgränstillstånd med samma beräkningsmodeller.

## 8.2 Försöksplats och provningsdjup

Försöksplatsen bör vara belägen så att signifikanta jord/bergförhållanden råder. Det kan dock ur utvärderingssynpunkt vara klokt att "renodla" förhållandena. Avsteg från verkliga förutsättningar kan emellertid skapa omräkningsproblem. Om avsteg görs från faktiska förhållanden måste avvikelserna kunna beaktas på ett adekvat sätt för att resultaten från provningen skall kunna "översättas" till verkliga förhållanden.

På den valda försöksplatsen skall förekommande jordlager, intill ett djup av minst fem (helst åtta) plattdiametrar under försöksnivån, och deras egenskaper vara dokumenterade med sedvanliga geotekniska fält- och laboriemetoder.

Platfförsök utförs på en väl avjämnd yta, ytligt direkt på marken, eller på visst djup på framschaktad botten. (Alternativt kan platfförsök även utföras på botten av förborrade hål med stor diameter).

Vid val av djup beaktas att överlagringstrycket endast har en marginell inverkan på bärförmågan i det odränerade fallet, förutsatt att skjuvhållfastheten inte är alltför låg. I det dränerade fallet bidrar överlagringstrycket väsentligt till bärförmågan. (Jfr *ekvation 2.46a*). I det dränerade fallet avtar överlagringstryckets betydelse för totalbärförmågan med ökande plattstorlek. Provningsdjup väljs med hänsyn till grundläggningsdjup för den blivande konstruktionen. Alternativt kan provningsdjupet bestämmas av djupet för ett speciellt jordskikt vars egenskaper provningen skall klarlägga.

## 8.3 Val av plattdimension

Valet av plattstorlek är styrande för försöken i sin helhet. Plattan skall vara tillräckligt stor för att påverka de jordlager vars egenskaper man önskar klargöra. Bärförmågan kan antas

påverkad av egenskaperna intill djupet  $b$  ( $b$ =plattans tvärmått), under plattan, i undantagsfall - vid löst lager under fast -  $4b$  (jämför *ekvation 2.63 och 2.64*). Deformationsegenskaperna i friktionsjord kan antas ha betydelse för resultatet av förhållandena intill ett djup av  $2b$  under plattan. Vid provbelastning av platta i jord som uppvisar stor heterogenitet krävs att plattan har tillräcklig storlek för att inte enbart influeras av enstaka större fasta eller svaga enheter. Tvärmåttet på plattan bör vara minst fem, helst tio gånger större än förekommande största enhet. Mindre plattstorlek än 0,6 m bör normalt ej väljas. Det kan ofta vara fördelaktigt att välja några olika plattstorlekar i en försöksserie. På så sätt erhålls värdefull information om dimensionsberoendet och vid skiktad jord kan egenskaperna i olika skikt bättre klarläggas.

Provplattor utformas normalt kvadratiska eller cirkulära. Om man önskar styra brottet i en given riktning kan detta åstadkommas genom att utforma provplattan svagt rektangulär.

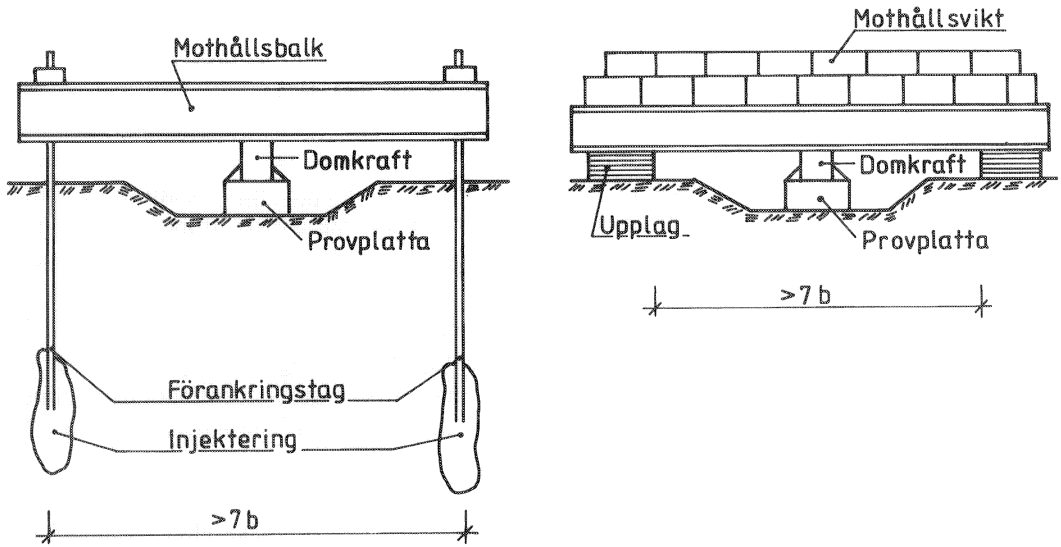
Mot önskemålet om stort tvärmått på plattan ställs möjligheten att mobilisera erforderlig kraft på plattan. Denna kraft ökar med minst plattarean och därmed kvadratiskt med plattdiametern. Den zon, i plan, vilken påverkas av plattan är ofta ca 6–8 plattdiametrar, koncentriskt belägen runt plattan. För att inte få okontrollerbar influens bör därför denna zon vara fri från störningar. Erforderligt avstånd mellan olika försöksplattor bör således om möjligt vara *minst 6 ggr* plattdiametern.

Plattan bör göras så styv att några betydande krökningar hos plattan ej uppkommer i samband med provbelastningen.

## 8.4 Försöksutförande

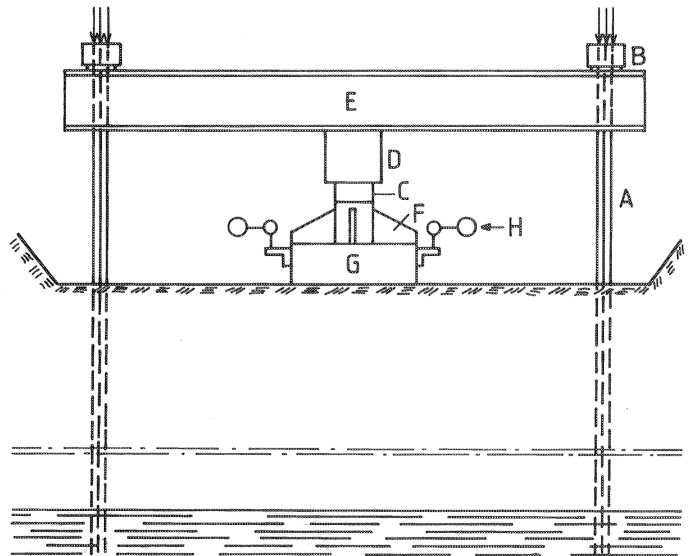
### Kraftapplicering och mothållssystem

För det mesta är de plattor som provbelastas för små för att kunna rymma mothållstyngd på plattan. Om å andra sidan plattan är stor nog, blir det svårt att uppbringa så stor mothållstyngd att några högre grundtryck kan åstakommas. Ofta är man därför hänvisad till att lösa mothållet med hjälp av mothållsbalcar och injekterade dragstag eller mothållsvikt, *figur 8.1*.



Figur 8.1. System för kraftapplicering, princip.

Lämplig domkraft kan vara av den typ som används för provdragning och uppspänning av dragstag. Exempel på belastningssystem visas i figur 8.2



Figur 8.2. Exempel på belastningssystem vid provbelastning. A, stag; B, dragstycke; C, lastcell; D, hydraulisk domkraft; E, mothållsbalk; F, trycklock; G, provplatta; H, system för mätning av vertikallrörelser.

Enligt *kapitel 8.3* påverkar ett plattförsök jorden inom en zon av 6–8 plattdiametrar koncentriskt belägen runt plattan. Dragstag för mothållet bör därför ej vara placerade inom denna zon. Det medför i sin tur att mothållsbalken bör ha en längd av minst sju plattdiametrar. Momentet som mothållsbalken skall klara kommer därför att bero av plattdiametern upphöjt till tre.

### **Belastningsrutin**

Tillvägagångssättet vid provbelastningen är avgörande för försöksresultaten. Med tillvägagångssätt avses här dels hur belastningen påförs en enskild platta, dels i vilken ordning olika plattor i en serie belastas om de ligger inom ett begränsat område. Inte sällan är man hänvisad till att utföra försöken inom ett begränsat område. Avståndet mellan olika belastningsytor bör om möjligt vara minst ca 6 gånger plattdiametern, jfr *kapitel 8.3*. Genom att provbelasta små plattor före stora minskas det erforderliga inbördes avståndet. För lastens påförande kan följande riktlinjer lämnas:

- lasten påförs i steg
- laststegens storlek avpassas så att ca 10 laststeg erhålls upptill brotlasten
- laststegen bör vara lika stora (underlättar utvärdering av kryplasten)
- laststegens varaktighet kan variera beroende på vad man vill studera. I friktionsjord får laststegen ofta verka i 8 minuter och deformationerna bör avläsas minst efter 1, 2, 4 och 8 minuter, eller kontinuerligt 1–2 ggr/min med hjälp av automatiskt mätsystem. För att erhålla dränerade parametrar i finkornigare jord studeras tidsättningssambanden i varje laststeg som får verka tills erforderlig konsolideringsgrad erhållits.
- i de fall långtidsdeformationer eller effekt av växlande last efterfrågas är det lämpligt att genomföra långtidsförsök alternativt ett antal av- och pålastningscykler.

### **Instrumentering**

En bristfällig instrumentering och registrering vid provbelastning försvårar utvärdering och tolkning. Minimikravet för en instrumentering är att kraften på plattan kan registreras med god upplösning och tillförlitlighet, mätonoggrannhet max 5% av mätvärdet. Vidare bör sättningen hos plattan mätas i minst

tre punkter. Tre punkter är nödvändigt för att kunna bedöma huruvida plattan kantrar, och i så fall hur mycket. Utöver denna instrumentering kan det ibland vara värdefullt att komplettera med utrustning så att eventuell hävning och/eller sidoförskjutning av jord, samt genererade porvattentryck kan registreras.

För att framgångsrikt kunna mäta plattans sättning krävs ett tillförlitligt referenssystem i vilket deformationsmätarna sitter monterade.

Tillförlitligheten hos referenssystemet bestäms av:

- **upplagspunkterna.** Dessa skall vara belägna på så stort avstånd från den belastade plattan att de inte påverkas av den eventuella hävning eller sidosörelse som uppträder i jordmassan. Ett betryggande avstånd torde vara fyra plattdiametrar från centrum av belastad platta.
- **temperaturstabilitet.** Temperaturrelserna i referenssystemet måste elimineras så långt möjligt. Material med låg värmeutvidgningskoefficient och stor värmekapacitet bör användas. Skydd mot direkt solbestrålning bör anordnas.
- **mätbalken.** Mätbalken måste ha sådan styvhet att inga krypningar uppstår under provningstiden. Erfarenheter visar bl a att betongpåle ej bör användas.
- **vindokänslighet.** Utforma delarna så att vind inte kan bringa referenssystemet i svängning.

## 8.5 Redovisning och utvärdering

### 8.51 Redovisning

Provb belastningsresultat redovisas primärt i last-sättningsdiagram. Vanligtvis mäts plattans sättning i flera olika punkter för att medge bedömning av om plattan kantrar. Sättningen i samtliga punkter redovisas separat. Dessutom redovisas plattans medelsättning mot medelgrundtrycket.

Redovisningen bör alltid ske i oförvrängda (lin-lin) skalor.

Vid stegvis pålastning används sättningsvärdena från avläsningar vid laststegens slut. För bestämning av kryplasten avsätts krypningen under laststegens senare del som funktion av grundtryck.

Arbetskurvans avlastningsgren skall även redovisas. Vidare bör *alla* förlopp registreras och redovisas exempelvis uppehåll (tid anges) lastcykler (antal, lastnivåer).

Förutom provbelastningsresultat bör i redovisningen följande anges: plattans nr, plats, plattdimension, djup, tidpunkt (start/slut) använd utrustning med angivande av kalibreringsdata och mätonoggrannhet, väderlek samt övriga data som är relevanta för provningen.

## 8.52 Utvärdering

Syftet med plattförsök är antingen att klargöra bärförmågan (brottgränstillstånd) eller kompressionsegenskaper (bruksgränstillstånd), alternativt båda delarna. Nedan följer en beskrivning av utvärderingsförfarandet i respektive fall.

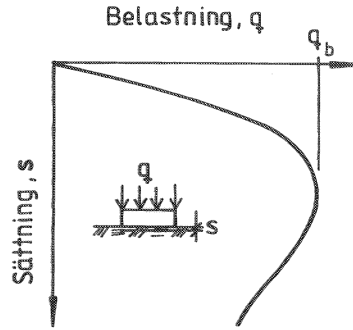
### Bärförmåga

Utvärderingen inleds alltid med att plattans medelsättning plottas mot medelgrundtrycket. På så sätt erhålls en kurva som vanligen ser ut som endera *figur 8.3* eller *8.4*. Bärförmågan, dvs brottgränstrycket  $q_b$  bestäms då efter någon av de principer som anges nedan.

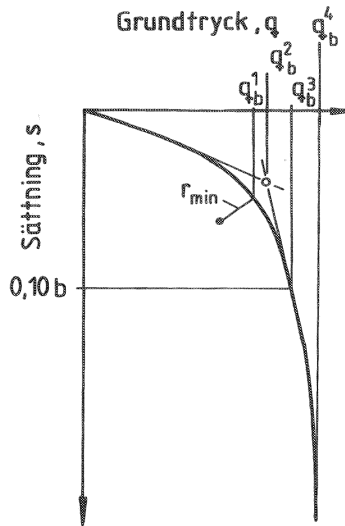
- Det grundtryck ( $q_b^1$ ) som ger en sättning hos plattan lika med 10% av plattbredden (10%-kriteriet).
- Det grundtryck ( $q_b^2$ ) som motsvarar skärningspunkten mellan tangenterna till första respektive sista räta delen av grundtryck-sättningskurvan.
- Det grundtryck ( $q_b^3$ ) som råder i den punkt där krökningen hos kurvan är som störst (krökningsradien minst).
- Det grundtryck ( $q_b^4$ ) som svarar mot asymptoten för grundtryck – sättningskurvan.

Det förstnämnda kriteriet torde vara det vanligast förekommande.

I vissa fall erhålls en jämnt krökt kurva ur vilken det är svårt att utvärdera  $q_b$ . När detta inträffar är det ofta möjligt att utvärdera kryptrycket genom att plotta krypningen i några olika tidsintervall mot grundtrycket. Vanligen erhålls då en kurva med principiellt utseende enligt *figur 8.5*. Den tydliga brytpunkten på kurvan visar det grundtryck, som om det överskrids, leder till en markant ökning av kryphastigheten. Detta tryck, kryp-



Figur 8.3. Samband mellan grundtryck och sättning för en platta grundlagd på lera.



Figur 8.4. Samband mellan grundtryck och sättning för en platta grundlagd på sand.

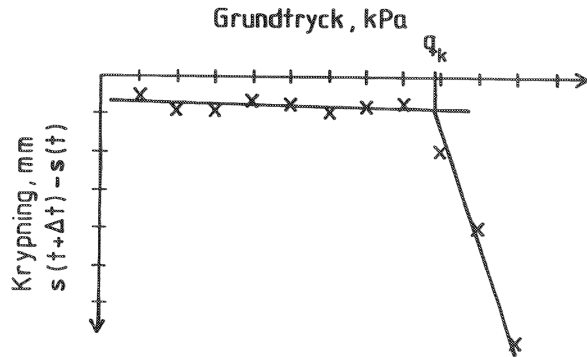
grundtrycket, skall ses som en brottgräns (brott till följd av stora deformationer) eftersom högre grundtryck än detta leder till brott i ett långt tidsperspektiv.

Den observerade bärförmågan används antingen direkt för dimensionering genom provning eller för bestämning av jordparametrar. ( $\phi$ ,  $c$ ), jfr *kapitel 8.8*.

**Deformationer**

På samma sätt som för bärförmågan kan den observerade sättningen användas antingen direkt för dimensionering genom provning eller för att utvärdera parametrar, *kapitel 8.9*.





Figur 8.5. Utvärdering av kryptrycket,  $q_k$ , inom olika tidsintervall kan vara ett alternativ till bestämning av brott-bärförmågan  $q_b$ .

För utvärdering av deformationsegenskaper ur plattförsök används ofta elasticitetsteori och en skjuvmodul  $G$  utvärderas (Larsson, Sällfors 1988)

$$G = \frac{\Delta q}{\Delta s} \frac{\pi}{8} (1 - \nu) f(z) b \quad (8.1)$$

där

$\Delta q$  = lastökning för vilken  $G$  skall beräknas

$\Delta s$  = sättning för lastökning  $\Delta q$

$\nu$  = tvärkontraktionstal

$f$  = korrektionsfaktor för inbäddning som varierar från 1,0 på markytan till 0,85 på botten av borrhål

$b$  = plattans diameter

Elasticitetsmodulen kan sedan bestämmas ur skjuvmodulen om  $\nu$  är känt eller kan uppskattas.

$$E = 2G(1 + \nu) \quad (8.2)$$

En ofta använd uppskattning är att  $\nu$  är ca 1/3 i friktionsjord och 0,4 till 0,5 i kohesionsjord.

## 8.6 Jordmodell

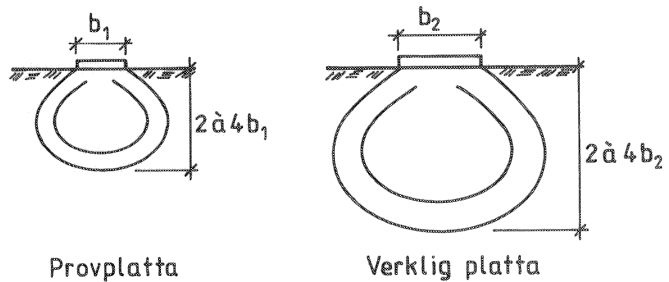
Bestämning av jordmodell med karakteristiska och dimensionerande parametrar blir ej aktuell om plattförsöken används direkt för dimensionering genom provning. Det är dock av största vikt att eventuella avvikelser i jord- och grundvattenförhållandena mellan försöksplats och plats för planerad konstruktion beaktas.

Om däremot plattförsök används för att utvärdera jordparametrar måste en aktuell jordmodell tas fram som underlag för dimensionering. T ex kan en serie plattförsök på olika djup användas för att bestämma erforderliga jordparametrar för dimensionering i brott- och bruksgränstillstånd.

## 8.7 Last – spänningsmodell

Aktuell last – spänningsmodell klarläggs som underlag för dimensionering. Härvid gäller vad som redovisats i *kapitel 2* och *3*.

Provplattor är ofta mindre än de plattor som skall dimensioneras m h a provbelastningsresultat. Därför måste speciellt beaktas att provplattan påverkar en mindre jordvolym än den verkliga plattan, *figur 8.6*, (*jfr kapitel 8.3*). Med relativt små plattförsök på några olika nivåer kan dock hela den berörda jordvolymen undersökas.



*Figur 8.6 Spänningsinfluens för provplatta resp verklig platta, princip*

## 8.8 Dimensionering i brottgränstillstånd

### Dimensionering genom fåtalsprovning

Dimensionering genom s k fåtalsprovning (antal provningar  $\leq 3$ ) kommer normalt att få användas för resultat från plattförsök eftersom plattförsök sällan utförs i något större antal med hänsyn till kostnaderna.

Enligt NR 1 får bärförmågan bestämmas med ledning av resultaten från provbelastningar utförda i så litet antal att de inte räcker till för att bestämma den karakteristiska bärförmågan  $R_k$ .

Dimensionering utförs då genom  $s$   $k$  fåtalsprovning. Karakteristisk bärförmåga  $R_k$  skall härvid enligt NR1 bestämmas enligt följande:

$$R_k = \frac{\sum R_{obs}}{n\beta} \quad (8.3)$$

## BETECKNINGAR

$R_{obs}$  observerad bärförmåga, korrigerad  
 $n$  antal provningar  
 $\beta$  faktor enligt följande tabell.

Antal provningar	$\beta$
1	1,3
2	1,1
3	1,0

Vid bestämning av geokonstruktioners bärförmåga med hjälp av provningar skall följande faktorer beaktas:

- avvikelser i jord- och grundvattenförhållanden mellan försöksplatsen och platsen för planerad geokonstruktion,
- tidseffekter, särskilt om försökens varaktighet är kort jämfört med lasternas varaktighet i den planerade konstruktionen,
- skaleffekter, särskilt vid modellförsök, bl a inverkan av påkänningsnivå och partikelstorlek,
- skillnader i geokonstruktionernas funktionssätt vid provningen och vid dimensioneringen.

När den karakteristiska bärförmågan således är känd kan enligt NR1 den dimensionerande bärförmågan bestämmas genom:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{Rd} \gamma_n \gamma_{mp}} \quad (8.4)$$

## BETECKNINGAR

$R_k$  karakteristisk bärförmåga  
 $\gamma_{Rd}$  en partialkoefficient som beaktar osäkerheten i dimensioneringsmetoden  $m$   
 $\gamma_n$  en partialkoefficient som beaktar säkerhetsklassen  
 $\gamma_{mp}$  en partialkoefficient för material som beaktar osäkerheten i bestämningen av bärförmågan vid provningen.

Värdet på partialkoefficienten  $\gamma_{Rd}$  skall väljas med hänsyn till risken för avvikelse mellan provningsresultatet och geokonstruktionens bärförmåga.

Värdet på partialkoefficienten  $\gamma_{mp}$  bör enligt NR1 väljas inom intervallet 1,3–1,5 och  $\gamma_{Rd}$  inom intervallet 1,2–1,8.

### Dimensionering med utvärderade parametrar

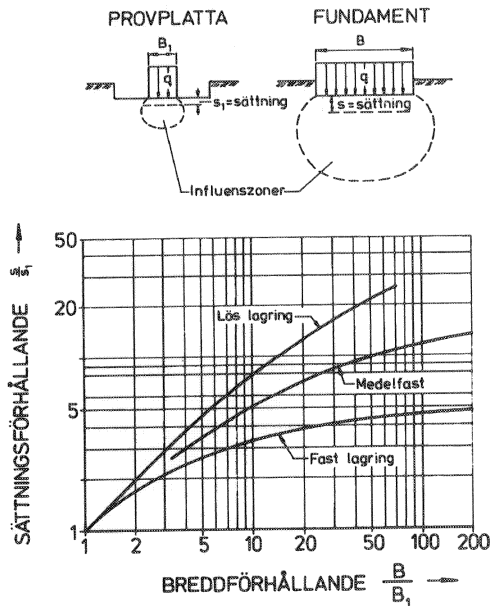
Plattförsök kan även utföras för att klargöra jordens hållfasthetsparametrar genom att använda beräkningsmodeller enligt *kapitel 2*. De utvärderade karakteristiska parametrarna används därvid för dimensionering i enlighet med *kapitel 3*. Vid utvärdering av parametrar från plattförsök beaktas faktorer som redovisats ovan för bestämning av  $R_k$ .

## 8.9 Dimensionering i bruksgränstillstånd

### Dimensionering genom provning

Vid bestämning av sättningens observationsvärde ( $s_{obs}$ ) för en projekterad platta beaktas faktorer som angetts i *kapitel 8.8*.

Skaleffekten kan för sand bestämmas med t ex halvempiriska samband utarbetade av (Janbu et al 1973). Förhållanden enligt *figur 8.7* mellan sättning för ett stort fundament ( $s$ ) och ett litet fundament ( $s_1$ ) gäller för samma belastning/ytenhet ( $q$ ).



Figur 8.7. Diagram för beräkning av sättningar på basis av plattförsök, Janbu et al (1973)

Speciell uppmärksamhet måste ägnas åt tidseffekter. Långtids-sättningen i friktionsjord kan härvid antas vara ca 2 ggr kort-tidssättningen uppmätt för plattförsök.

Den karakteristiska sättningen bestäms av uttrycket:

$$s_k = \frac{\sum s_{obs}}{n} \cdot \beta \quad (8.5)$$

där  $\beta$  väljs enligt *kapitel 8.8*.

Dimensionerande sättning bestäms av uttrycket

$$s_d = s_k \cdot \gamma_{Rd} \cdot \gamma_{mp} \quad (8.6)$$

där

$\gamma_{Rd}$  = en partialkoefficient som beaktar osäkerhet i dimensioneringsmetoden med hänsyn till t ex skaleffekt och tidseffekt.

$\gamma_{mp}$  = en partialkoefficient som beaktar osäkerheten i bestämning av deformationen vid provningen.

Värdet på partialkoefficienterna kan väljas något lägre än motsvarande värden i brottgränstillstånd. Förslagsvis kan  $\gamma_{Rd}$  sättas till 1,1–1,6 och  $\gamma_{mp}$  till 1,1–1,3.

Differenssättningen kan bestämmas som

$$\Delta s_d = s_d - s_k \quad (8.7)$$

i enlighet med *kapitel 3, ekvation 3.30*.

### Dimensionering med utvärderade parametrar

Dimensionering med ur plattförsök utvärderade parametrar utförs i princip som för dimensionering med utvärderade parametrar i brottgränstillstånd. Dvs provbelastningsresultaten används för att bestämma jordens egenskaper ( $E$ ). Giltigheten för dessa bestämningar begränsas naturligtvis till provplattans influensdjup. Med plattor på olika djup kan jordegenskaperna bestämmas även på större djup. Alternativt kan t ex sonderingsresultat användas för att med ledning härav utvärdera jordegenskaperna på större djup.

De utvärderade parametrarna utnyttjas sedan för bruksgränsdimensionering enligt *kapitel 3*.

## **8.10 Dimensionerande kontakttryck för grundplattan**

Dimensionerande kontakttryck för grundplattan bestäms enligt *kapitel 3*.

Kontakttrycksfördelning under provplattor kan även bestämmas med spänningsmätning under provbelastning.