

Bestämning av bärighetsegenskaper med statisk plattbelastning

Metodbeskrivning 606:1993

1 . ORIENTERING	3
2. SAMMANFATTNING	3
3. BEGREPP OCH DEFINITIONER	3
3.1 Statisk plattbelastning	3
3.2 Deformationsmodul.....	3
3.3 Normalspänning	4
3.4 Sättning.....	4
4. UTRUSTNING	4
4.1 Belastningsmothåll	4
4.2 Belastningsplattor.....	4
4.3 Tryckutrustning	6
4.3.1 Tryckpump	6
4.3.2 Tryckslang.....	6
4.3.3 Hydraulikpress	6
4.4 Anordning för kraftmätning	6
4.5 Anordning för sättningsmätning.....	7
4.6 Hjälpustning.....	8
5. FÖRSÖKSBETINGELSER	9
6. MÄTNING	9
6.1 Förberedning av provyta	9
6.2 Uppställning av belastningsutrustning	9
6.3 Uppställning av utrustning för sättningsmätning	10
6.4 Pålastning och avlastning	10
7. BESKRIVNING OCH UTVÄRDERING AV MÄTRESULTAT	11
7.1 Mätprotokoll.....	11
7.2 Registrering och behandling av mätdata	11
7.3 Beräkning av deformationsmodul E_v	12
8. EXEMPEL	13
8.1 Bestämning av deformationsmodul E_v	13
BILAGA A	15
BILAGA B	18

1 . ORIENTERING

Denna metod är utformad på grundval av DIN 18134 och är en beprövad metod för bestämning av ett underlags elasticitets- och deformationsegenskaper. Den kan användas både i samband med dimensionering av påbyggnad och för kontroll av att fastheten är acceptabel efter slutförd packning. Det är den senare användningen som avses i denna metod.

2. SAMMANFATTNING

Statisk plattbelastningen är en metod för bestämning av styvhet och packning i jordlager. Lagret belastas via en cirkulär platta och den sättning som då uppkommer registreras. Sättningen utgörs av såväl elastisk (återgående) som plastisk (kvarstående) deformation. Belastningen förs på i två omgångar med en mellanliggande avlastning.

Resultatet redovisas för varje mätpunkt i form av

- tryck - sättningsdiagram
- deformationsmodulerna från den första och den andra belastningsserien (E_{v1} och E_{v2})
- kvoten mellan deformationsmodulerna (E_{v2} / E_{v1}).

3. BEGREPP OCH DEFINITIONER

3.1 Statisk plattbelastning

Statisk plattbelastning är ett provningsförfarande vid vilket jorden genom en cirkulär lastplatta och med hjälp av hydraulisk tryckutrustning upprepade gånger stegvis på- och avlastas.

Sambandet mellan medelnormalspänningen σ_0 mitt under plattan och den samhörande sättningen (nedsjunkningen) s för varje laststeg beskrivs i form av en tryck-sättningslinje och uppritas i ett diagram.

3.2 Deformationsmodul

Deformationsmodulen (E_v) är en storhet, som används för att karakterisera deformationsbarheten hos jorden.

Dess värde beräknas med utgångspunkt från tryck-sättningslinjen vid det första och andra belastningsprovet och betecknas då E_{v1} respektive E_{v2} .

Tryck-sättningslinjen beräknas genom att en andragradskurva anpassas till de uppmätta mätvärdena .

Denna anpassning sker lämpligen i en förprogrammerad dator. Mätvärdena kan antingen lagras direkt vid mätningen i datorn eller avläsas manuellt för att senare matas in i datorn.

Beräkningarna framgår av avsnitt 7.3.

3.3 Normalspänning

Spänning beräknad på kraftkomposant som är vinkelrät mot den yta, på vilken kraften verkar.

3.4 Sättning

Sättning används i denna metodbeskrivning i betydelsen elastisk + plastisk kvarstående deformation under belastad platta.

4. UTRUSTNING

- Belastningsmothåll
- Belastningsutrustning bestående av lastplatta, tryckutrustning med oljepump, hydraulpress och högtrycksslang.
- Anordning för kraftmätning och mätning av sättningen under belastningsplattan lodrätt på den belastade ytan.
- Dator eller fickräknare med program för utjämningsberäkning

4.1 Belastningsmothåll

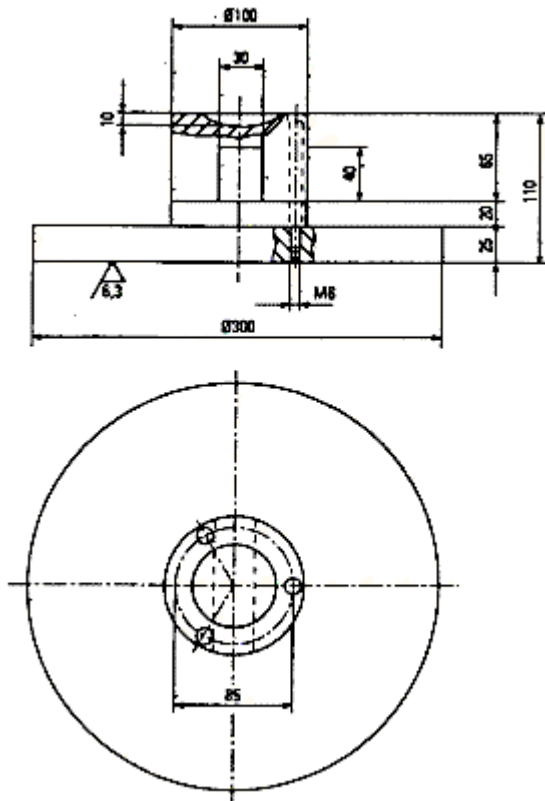
För utförande av plattbelastning behövs ett belastningsmothåll som är 4,5 ton större än den för försöket nödvändiga högsta provlasten. Lämpligt mothåll är en lastad lastbil, traktor eller motsvarande mothåll.

4.2 Belastningsplattor

Som material för belastningsplattor bör stål av lägst beteckning St 52,0 användas. Plattans undersida måste vara jämn. På dess översida bör finnas ett dosvattenpass, så att lastplattan kan horisonteras inom 7° från vågrätt plan. Belastningsplattan bör ha två handtag.

- Belastningsplattor med diameter **300 mm** måste ha en tjocklek av minst 25 mm.

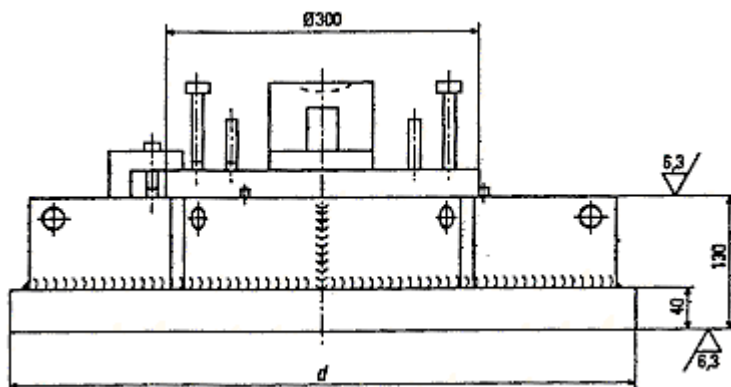
Belastningsplatta med hål för deformationsmätare, se figur 1.



Figur 1. Belastningsplatta $d = 300$ mm

Även belastningsplattor utan mätåhl och med anordning för trepunktsmätning kan användas.

- Belastningsplattor med diameter 600 och 762 mm måste ha en tjocklek av minst 40 mm och vara förstärkta med radialsymmetriskt anordnade förstärkningsribbor. På översidan ska finnas avsättningar för 300 mm platta, som är planparallell med underytan samt centreringsanslag (stift) och klämmor för att hålla fast plattan, se figur 2.



Figur 2. Belastningsplattor $d = 60D$ och $d = 762$ mm med radialsymmetriskt anordnade ribbor

4.3 Tryckutrustning

Tryckutrustningen ska möjliggöra en stegvis på- och avlastning av lastplattan och medge ett snabbt och säkert handhavande. Lämplig för detta är en oljetryckpump, som med en högtrycksslang är förbunden med en hydraulisk press.

4.3.1 Tryckpump

Oljetrycket ska regleras med en två-steps kolvump, som automatiskt omställs från låg- till högtryck. För att vid avlastning av lastplattan kunna reducera trycket noggrant och stegvis, ska pumpen vara försedd med en reglerbar tryckavlastningsventil. Vid belastningsstart och efter längre driftpaus måste hydrauliksystemet luftas.

4.3.2 Tryckslang.

Högtrycksslang minst 2 meter lång och med självslutande slangkopplingar.

4.3.3 Hydraulikpress

För att belasta lastplattan kan en enkelt verkande hydraulikpress användas. Tryckstämpeln (kolven) ska vid avlastning automatiskt glida tillbaka till sin ut- gångsställning. Detta uppnås med en fjäder som är placerad i stämpeköret. För en tillfredsställande trycköverföring måste pressen inkludera kraftmätningssutrustning som är tvåsidigt ledad och lagrad.

Pressen ska vara säkrad mot stjälpning och dess bygghöjd i belastningsläget ska inte vara högre än 600 mm. För utjämning mellan olika bygghöjder beroende på olika belastningsfordon måste förlängningselement imnas, som gör det möjligt att förlänga tryckstämpeln till minst 1000 mm.

Tryckstämpelförlängningarna måste vara böjningsstabila exempelvis genom ihopskjutbara förbindningar mellan förlängningselementen.

Tryckstämpelns rörelselängd måste uppgå till minst 150 mm. Om en förskjutning eller utböjning av tryckstämpeln kan befaras, måste denna i utdraget tillstånd fortfarande ha tillräcklig styrning.

4.4 Anordning för kraftmätning

Mellan lastplatta och tryckanordning ska imnas en mekanisk eller elektrisk kraftregistrerare. Den måste medge en avläsning av varje försöksbelastning med en mätningssosäkerhet av högst 1 %.

4.5 Anordning för sättningsmätning

Mätklockor för sättningsmätning ska ha en skalindelning av 0,01 mm och ett mätområde av minst 10 mm. Alternativt kan en elektrisk lägesgivare med högst samma mätningsosäkerhet samt motsvarande mätlängd användas.

Till mätning av sättningen i centrum av lastplattan används en fristående anordning. Denna består av en trepunktslagrad ställning med upplagen placerade minst 1,25 m från belastningsplattans centrum och vertikalt rörliga med vridstyva och böjstyva bärramar samt mätklocka eller lägesgivare.

För belastningsplattor med 600 och 762 mm diameter är det nödvändigt med en 400 mm lång tillsatsförlängning, som förlänger minimiavståndet mellan upplag och belastningsplattans centrum från 1,25 till 1,65 m.

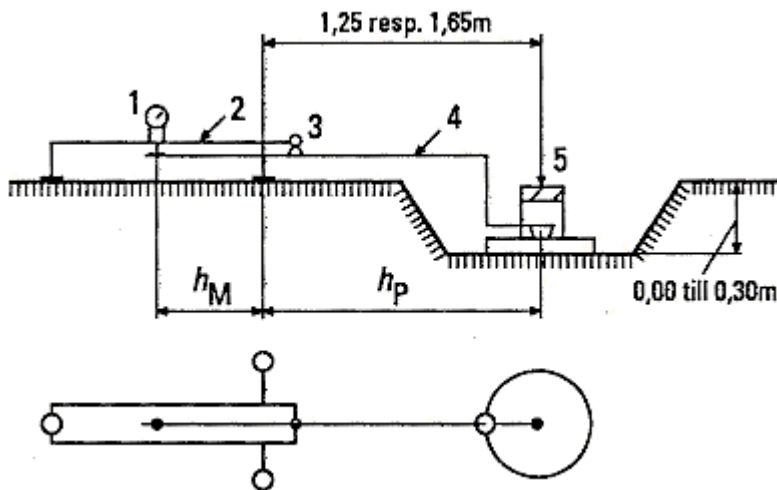
Vid enpunktförfarande görs sättningsmätningen i belastningsplattans centrum med bara ett mätur eller en lägesgivare. Mätanordningen visas sehematiskt för två skilda fall i figur 3.

Vid anordning enligt figur 3a erhålls sättningen i belastningsplattans centrum s genom multiplikation av mätarets sättningsvärde S_M med översättningsförhållandet h_p/h_M

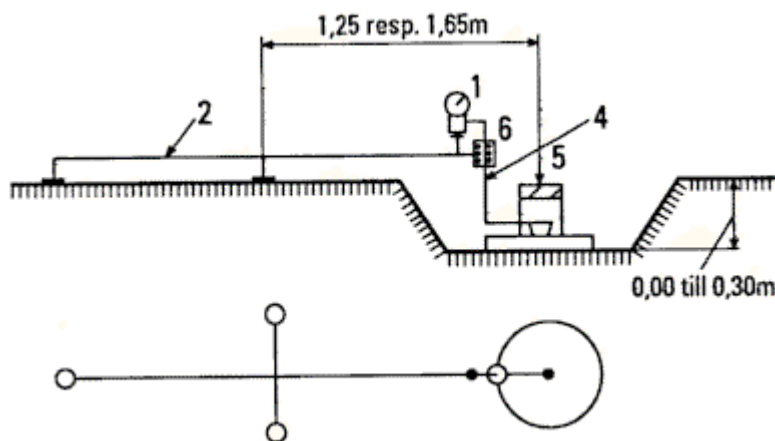
$$s = S_M \cdot \frac{h_p}{h_M} \quad (1)$$

För att förenkla nolljusteringen bör mätklockorna vara försedda med fininställningsmöjlighet. För lägesgivaren är en nollmätning nödvändig. Mätningen kan också ske med vanliga mätbryggan, då tre mätklockor eller lägesgivare används, se bilaga A.

Figur 3 a och b visar anordningar för sättningsmätning med avkänningsmekanism för 1-punktsmätning.



Figur 3 a. Efter principen med vägbalkens vridbara avkänningsarm. Sättningsmätning med hänsyn tagen till hävstångförhållandet h_P/h_M



Figur 3 b. I bärlager axiellt förskjutbar avkänningsarm. Sättningsmätning i förhållande 1:1

- 1= Mätur eller lägesgivare
- 2= Monteringsrigg
- 3= Vridpunkt
- 4= Avkänningsarm
- 5= Last
- 6= Linjälager (kulbussning)

4.6 Hjälpustrustning

- Spade.
- Stållinjal.
- Vattenpass, lod, tumstock, avjämningsand.

5. FÖRSÖKSBETINGELSER

Statisk plattbelastning kan utföras både på grovkorniga och blandkorniga jordar samt på styva och fasta finkorniga jordar.

Stenar större än ca 1/4 av belastningsplattans diameter får endast förekomma undantagsvis i ytskiktet.

På ensartad material samt i ytskiktet tillfälligt uppblöta jordar och på jordar, som av andra skäl är störda i ytskiktet, görs belastningen eventuellt **under** det störda skiktet. Tjockleken på det undersökta lagret bör dock inte ändras väsentligt, eftersom bärigheten minskar med minskande lagertjocklek.

På finkorniga jordar kan plattbelastning normalt endast utföras och utvärderas, när jordarna har en styv till fast konsistens.

6. MÄTNING

6.1 Förberedning av provyta

Förbered en provyta som motsvarar belastningsplattans storlek. Belastningsytan ska göras såjämn som möjligt t ex med hjälp av en ställinjal. Ta bort löstjordmaterial.

På ytor med en lutning av mer än 5° mot horisontalplanet måste en horisontell provyta göras i ordning för att undvika glidning av belastningsplattan och förskjutningar i tryckanordningen.

6.2 Uppställning av belastningsutrustning

Hela belastningsplattan måste ligga anjämnt mot underlaget. För att undvika ojämnheter kan ett millimetertunt skikt av avjämnings sand läggas ut.

Rikta därefter in belastningsplattan horisontalt. På lutande provytor ska inställningen ske med hjälp av vattenpass.

Ställ upp tryckstämpeln vertikalt på mitten av belastningsplattan och säkra mot stjälpning.

För att mothållets upplagsbelastning inte ska påverka mätresultatet måste avståndet mellan belastningsplattan och mothållets upplag (t ex bilhjul) vara:

- ≥ 0,75 m vid belastning med 300 mm platta.
- ≥ 1,10 m vid belastning med 600 mm platta.
- ≥ 1,30 m vid belastning med 762 mm platta.

6.3 Uppställning av utrustning för sättningsmätning

Vid mätning av belastningsplattans sättning eller sjunkning vid belastning ska upplag för mätramen, som bär mätklocka alternativt lägesgivare, vara uppställda så långt som möjligt från belastningsmothållets närmaste upplag, dock minst 1,25 m.

Mätklocka alternativt lägesgivare måste vara uppställda lodrätt mot provytan. Vid inriktning av belastningsplattan bör tillses att mätspetsen är fri i belastningsplattans centrumhål och placerad i dess centrum.

Belastningsplattan förbelastas under kort tid.

En förbelastningen ska ske under ca 30 sekunder med 0,01 MN/m² tryck. Gör därefter en nollmätning om lägesgivare används alternativt nollställ mätklockorna.

Apparaturen och belastningsmothållet får inte utsättas för skakning under belastningsförsöket.

6.4 Pålastning och avlastning

Grundregeln är att den för belastningsprovet avsedda maximala belastningen och/eller maximala sättningen ska anpassas efter jordmaterialets egenskaper och belastningsplattans storlek.

Fastställande av deformationsmodulen (E_v)

Vid fastställande av deformationsmodulen (E_v) i jord-vägbyggnad utförs som regel belastningsförsöket med en belastningsplatta som har $\varnothing = 300$ mm. Plattan utsätts för belastningsökning tills en sättning (sjunkning) uppstått eller normalspänningen under plattan uppnått ett visst värde beroende på plattans diameter se tabell 1.

Tabell 1.

Diameter mm	Sättning mm	Normalspänning MN/m ²
300	5	0,5
600	7	0,25
720	13	0,20

Belastningen ska avbrytas vid lägre sättningsvärden alternativt lägre normalspänning, om jorden visar svag kornhållfasthet och om den starka ökningen av nersjunkningen visar närhet till brott.

Belastningen ska påföras stegvis (7 st) 0,08 - 0,16 - 0,24 - 0,32 - 0,40 - 0,45 och 0,50 MPa. Det första steget (0,08) ska ligga på 2 minuter. De följande stegen ska ligga på minst 1 minut eller tills sättningshastigheten är noll. Om det visar sig att nästa valda lastintervall är för högt eller lågt måste motsvarande förändrade intervall väljas.

Vid på- och avlastning ska nästa laständring göras 120 sekunder efter det att föregående last uppnåtts. På överbyggnadslager får väntetiden kortas till 60 sekunder. Lasten ska hållas konstant på varje laststeg.

Om av misstag alltför hög last har påförts får den inte minskas utan ska bibehållas och en anmärkning härom göras i försöksprotokollet vid den tillhörande lasten.

Avlasta belastningsplattan i tre steg till 50%, 25% och 0 % av den maximala lasten. Gör en ny belastningscykel efter fullständig avlastning, men bara till första belastningscykelns näst högsta laststeg (0,45 MPa).

7. BESKRIVNING OCH UTVÄRDERING AV MÄTRESULTAT

Mätresultaten visar sambandet mellan den pålagda belastningen i en mätpunkt och den av belastningen orsakade sättningen.

Beskrivningen av mätresultaten görs genom att visa tryck-sättnings sambandet i ett diagram och beräkna deformationsmodulen (E_v) från den första och andra belastningsserien samt att beräkna bärighetskvoten av dessa två E_v -värden.

Utvärdering av resultaten görs genom att jämföra erhållna värden på E_{v2} och bärighetskvoten E_{v2}/E_{v1} med kraven.

7.1 Mätprotokoll

Ange:

- Provplatsens läge
- Belastningsplattans diameter
- Typ av anordning för sättningsmätning eventuellt med omräkningsfaktor
- Materialtyp
- Typ av underlag för belastningsplattan (avjämning)
- Väder, eventuellt temperatur och tidpunkt
- Tidpunkt
- Provningspersonal
- Anmärkningar och avvikelser från fastlagt förfarande
- Resultat av mätursavläsningar med tillhörande normalspänningar och försöksutvärdering
- Tryck-sättningslinjer

7.2 Registrering och behandling av mätdata

Registera erhållna värden för normalspänningen σ_0 för varje laststeg och motsvarande avläsning s_M på mätklockan alternativt lägesgivaren (se exempel under punkt 8).

Beräkna sättningen s i belastningsplattans centrum eventuellt med hänsyn till hävarmsförhållandena h_p / h_M (se iigur 3a).

Bestäm normaltryckspänningen och sättningen enligt tabellerna i punkt 8. Rita upp en utjämnad tryck-sättningslinje för varje enskild mätpunkt som provats genom belastnings- och avlastningscykler bl a för att bedöma rimligheten i mätningarna.

7.3 Beräkning av deformationsmodul E_v .

Bestämning av deformationsmodulen E_v) och bärighetskvoten (E_{v2}/E_{v1}) av modulen från den andra och första belastningen grundas på den utjämnade trycksättningslinjen från belastningsprovingen.

Tryck-sättningslinjen beskrivs genom nedanstående andragradspolynom enligt formel 2:

$$s = a_0 + a_1 \cdot \sigma_0 + a_2 \cdot \sigma_0^2 \quad (2)$$

varvid konstanterna bestäms enligt minsta kvadratmetoden.

s = sättning i belastningsplattans centrum i mm
 σ_0 = medelnormalspänningen under plattan i MN/m²
 a_0, a_1, a_2 = konstanter i andragradspolynomet

För att erhålla konstanten från förbelastningen tas ingen hänsyn till punkten $s=0$

Anm. 1.

Utjämnning av resultaten genom andragradspolynom ger en objektiv bedömning

Anm. 2.

För beräkning av konstanter till ekvationen ur resultaten från ett belastningsprov är normalekvationerna i bilaga B uppställda. Som räknehjälp rekommenderas en dator, som kan programmeras för uppställning och lösning av ekvationerna.

E_v - modulen beräknas enligt formel 3:

$$E_v = 1,5 \cdot r \cdot \frac{1}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{1 \max}} \quad (3)$$

r = belastningsplattans radie i mm

$\sigma_{1 \max}$ = maximal medelnorfnalspänning vid den första belastningen i MN/m²

Deformationsmodulen vid den första belastningen betecknas med index 1 och den andra belastningen med index 2.

8. EXEMPEL

8.1 Bestämning av deformationsmodul E_v

Lastplattans diameter: 300 mm.

Översättningsförhållandet för sättningmätningen, när mätanordning enligt figur 3a används, framgår av formel 1, avsnitt 4.5.

$$s = s_M \cdot \frac{h_p}{h_M}$$

$$\frac{h_p}{h_M} = \frac{1,26}{0,945} = 1,333$$

Se tabell 2, 3 och 4 samt figur 4.

Nr	Kraft kN	Normal- spänning σ_0 MN/m ²	Sättning	
			Mätur 0,01 mm	Plattans Centrum 0,01 mm
0	0,71	0,01	0	0
1	5,65	0,08	5	7
2	11,31	0,16	15	20
3	16,36	0,24	23	31
4	22,62	0,32	40	53
5	28,27	0,40	60	80
6	31,81	0,45	72	96
7	35,34	0,50	96	128
8	17,67	0,25	85	113
9	8,48	0,12	71	95

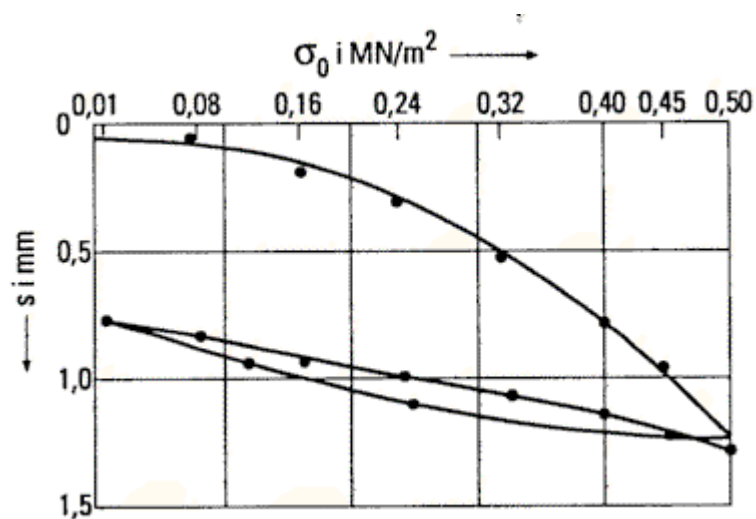
Tabell 2. Mätvärden, första belastningen

Nr	Kraft kN	Normal- spänning σ_0 MN/m ²	Sättning	
			Mätur 0,01 mm	Plattans Centrum 0,01 mm
10	0,71	0,01	56	75
11	5,65	0,08	61	81
12	11,31	0,16	66	88
13	16,36	0,24	79	97
14	22,62	0,32	78	104
15	28,27	0,40	86	115
16	31,81	0,45	92	123

Tabell 3. Mätvärden, andra belastningen

		Första be- lastning	Andra be- lastning
$\sigma_1 \text{ max}$	MN/m	0,50	0,50
a_1	mm/(MN/m ²)	- 0,268	+0,610
a_2	mm/(MN/m ²)	5,195	0,951
$E_v = \frac{1,50 \cdot r}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_1 \text{ max}}$		96,6	207,3
E_{v2}/E_{v1}		2,15	

Tabell 4. Sammanställning av resultat



Figur 4. Trycksättningslinje vid packningskontroll

BILAGA A

Utrustning för genomförande av deformationsmätning med det s k trepunktsförfarandet

A1

Lastplatta.

I avvikelse från avsnitt 4.3 kan också en belastningsplatta utan centrumhål användas för trepunktsmätning med mätbrygga enligt figur A 1

A2

Utrustning för deformationsmätning.

Mätning av deformationen i den belastade ytan kan också genomföras med hjälp av en mätbrygga och tre mätur alternativt tre lägesgivare (mätning enligt trepunktsförfarande), varvid sättningen i mitten av plattan beräknas som medelvärdet från de tre mätpunkterna.

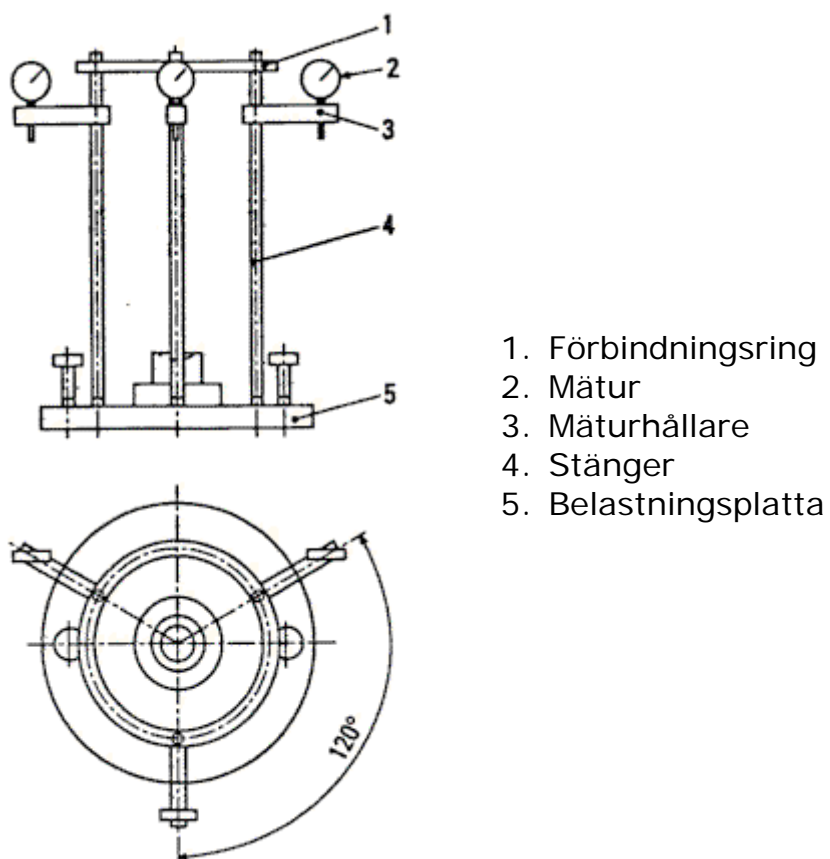
Mätbrygga och mätur måste möjliggöra att sättningen i plattans mitt kan avläsas med 0,01 mm noggrannhet. Plattans rörelse ska mätas lodrätt på plattans överyta i tre punkter, som vid belastningsprovets start placerats på lika avstånd från mittpunkten och ligger på 120° skillnad på centrumvinkeln.

Dessa fordringar uppfylls genom följande beskrivna anordning, där belastningsplattan är försedd med hållare för mätklockor respektive - givare, som ligger an mot avståndsplattor på en mätbrygga. Mätbryggan måste vara enkel att transportera, säker att handha och stadig.

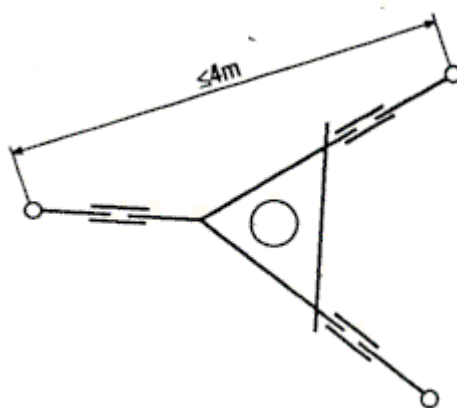
Mest ändamålsenlig är den Y-formade, försedd med teleskopformade utdragbara balkar enligt figur A2. Balkarna ska bestå av korrosionsskyddat stål eller aluminium och vara böjstyva. För utjämning av ojämnheter hos terrängen måste upplagen i mätbryggans ståndare kunna justeras i höjd. Vid en spännvidd av 4 m måste motståndsmomentet vara minst $W = 8 \text{ cm}^3$.

På mätbryggan är - för mätklockorna respektive lägesgivarna -ytjämna, längs balkarna förskjutbara och horisontellt utskjutbara ståndare anordnade.

Mäturen alternativt lägesgivarna är fästade på balkarna och därför uppställda på tidigare omnämnda gängade bussningar på belastningsplattan. De gängade bussningarna måste vara placerade radialsymmetriskt på ett avstånd av 100 mm från belastningsplattans mittpunkt. De uppmonterade balkarna ska vara 400 mm till 600 mm långa. Vid försök på smala provplatser väljs motsvarande längd. De övre stångändarna är sammanhållna genom en ring.



Figur A2. Planritning av mätbrygga



Figur A3. Anordning för tre mätur alternativt lägesgivare vid trepunktsmätförfarande.

BILAGA B

Normalekvationer för beräkning av konstanter i andragradsekvationerna

Normalekvationer för beräkning av konstanter till ekvationen

$$s = a_0 + a_1 \cdot \sigma_0 + a_2 \cdot \sigma_0^2$$

ur försöksresultaten $s_1, s_{01}, s_2, s_{02}, \dots, s_n, s_{0n}$, framgår

$$\begin{aligned} a_0 \cdot n + a_1 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i} + a_2 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^2 &= \sum_{i=1}^n s_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i} + a_1 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^2 + a_2 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^3 &= \sum_{i=1}^n s_i \cdot \sigma_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^2 + a_1 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^3 + a_2 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^4 &= \sum_{i=1}^n s_i \cdot \sigma_i^2 \end{aligned}$$