

MEDDELANDE NR 3

Jämförelse mellan moment, krökningsradie och sprickvidd i betongpålar slagna genom lös lera till släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg.

Av Bror Fellenius

27 aug.1964

De i meddelandet framförda åsikterna är författarens och behöver icke vara påkommitténs ståndpunkt.

Meddelande nr 3
från
IVA:s pålkommitté

Jämförelse mellan moment, krökningsradie och sprickvidd i betongpålar slagna genom lös lera till släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg.

Allmänt.

Flera av de nya broar, som skall byggas i samband med Tingstadsledens framdragande i Göteborg skall grundläggas på stödpålar av betong med upp till 70 m längd. Broöverbyggnaderna skall utföras i förspänd betong med små tillåtna sättningsdifferenser på brostöden. Höga laster kommer att tillåtas på pålarna, som i stor utsträckning slås mot släntberg. Det är därvid av vikt att lämpliga krav uppställas på pålskarvarna och att rimliga toleranser bestämmas beträffande krökning, sprickor och deformationer. Pålarnas slagning måste ägnas större uppmärksamhet än vad som är normalt.

Krökningen hos en slagen påle kan konstateras genom mätning med inklinometer i ett i pålen ingjutet centrumrör.

I samband med pålningsarbetena för SJ:s nya dubbelspårsviadukt på sträckan Göteborg C - Almedal har prov utförts i avsikt att studera sambanden mellan moment, krökningsradie och sprickvidd i betongpålar, dels oslagna och dels slagna genom lös lera till släntberg. Följande beskrivning av dessa prov avser att tjäna som underlag för diskussion av hithörande problem.

Grundförhållanden.

Platsen för provslagningen valdes, där djupet till berget enligt utförda grundundersökningar är omkring 18 å 20 m och bergets lutning c:a 1:1. Berget överlagras av lera med ett mycket tunt friktionsjordlager närmast berget. På pålplanen har bergets nivålinjer enligt grundundersökningarna inlagts, bil. 1.

Provens omfattning.

Slagning.

Proven omfattade slagning av fem pålar, två 6-kantiga av Nya Asfalt AB:s typ med 800 cm^2 genomskärningsarea och bajonettskarv, s.k. Herculespålar, och tre kvadratiska 30×30 (900 cm^2) pålar av Skånska Cementgjuteriets typ med skarv av AB Betongpålars konstruktion (fyra låspinnar), bil. 2.

Böjprovning.

Böjprovning har utförts av Chalmers Provningsanstalt på sammanlagt sex pålelement av vardera påltypen enligt följande:

2 st	pålelement utan skarv, slagna
2 "	" med " , "
1 "	" utan " , oslaget
1 "	" med " , "

Kubprovning.

För vardera påltypen har tryckhållfasthetsprovning av betongen utförts på sex kuber med 20 cm sida, tillverkade samtidigt som pålarna och på två kuber utsågade ur för slagning utsatta påldelar.

Provpålarnas konstruktion.

De 6-kantiga pålarna var armerade med 6 $\emptyset$ 16 mm Ks 60 och spiralarmering av $\emptyset$ 5 mm med 100 mm stigning utefter hela pålens längd. Pålspetsen var försedd med bergsko av Nya Asfalt AB:s standardtyp.

De kvadratiska pålarna var armerade med 4 $\emptyset$ 19 mm Ks 60 och spiralarmering av $\emptyset$ 5 mm med stigningen 100 mm på en sträcka av 1 m närmast pålsko och 1 m på ömse sidor om pålskarv och stigningen 200 mm i övrigt. Pålen var försedd med förstärkt bergspets av tidigare utprovad typ. Provningsresultaten har redovisats i pålkommitténs meddelande nr 1, 1963. Denna förstärkta bergspets har lös $\emptyset$ 60 mm bergdubb, vilken vilar mot en $90 \times 90 \times 50$ mm tryckfördelande stålplatta, som är fastsvetsad på bergspetsens 22 mm tjocka bottenplatta.

Påldelarnas längder var med ledning av grundundersökningarna för via-dukten avpassade så, att en pålskarv vid stoppslagningen skulle komma c:a 2 m ovan markytan. Ovan denna skarv var en 7 m lång påldel. När slagningen avslutats, kapades pålen 2 m under nämnda skarv samt 2 m och 6 m ovan samma skarv. På så sätt erhöles tre pålelement. ett

4 m långt med skarv och ett 4 m långt utan skarv för böjprovning samt ett 1 m långt, ur vilket provkuber kunde sågas.

Påldelarnas längder och bergspetsarnas konstruktion framgår av bil 3.

Betongens kubhållfasthet översteg i samtliga pålar 500 kg/cm^2 .

Samtliga pålar, utom en av de 6-kantiga, ingick i konstruktionerna för dubbelspårsviadukten och har fått beteckningar enligt den för viadukten uppgjorda pålplanen, bil 1.

De 6-kantiga pålarna tillverkades den 21.8.1963 vid Nya Asfalt AB:s pålfabrik i Lökum och de kvadratiska den 22.8.1963 vid Skånska Cementgjuteriets pålfabrik i Måröd.

Provens utförande.

Slagning.

Slagningen av pålarna utfördes den 2 och 3 oktober 1963.

Slagningen utfördes med pålkran av typ Åkerman med 3 ton hejare i enkel part.

Avsikten var att slagningen skulle ske med lätta hejarslag tills pålspetsen nått bergytan och därefter fortsätta enligt följande program.

600	slag	fallhöjd	0,25 m
"	"	"	0,30 "
"	"	"	0,35 "
"	"	"	0,40 "
400	"	"	0,45 "
<u>200</u>	"	"	0,50 "

Summa 3000 slag

Vid slagning av långa pålar till berg eller fast botten på denna plats krävs normalt flera tusen slag.

Vid pålarnas neddrivning till berg räknades antalet erforderliga slag. Därefter uppmättes pålarnas sjunkning genom avvägning med ett på c:a 8 å 10 m avstånd uppställt avvägningsinstrument, varvid avvägningsstången ersattes med på pålarna fastklistrade millimeter-skalar. Sjunkningen avlästes för vart 50:e slag. Pålarnas sjunkning

sedan pålspetsen ansetts ha nått berget framgår av sjunkningsdiagram, bil 4. På dessa diagram har även angivits när trä mellanlägget i slagdynan utbytts samt under slagningen gjorda iakttagelser beträffande skarvarna. Vidare har det djup angivits, på vilket pålspetsen träffat förmodat berg.

Påle nr 39 (30 x 30 cm betongpåle).

För nedslagningen till förmodat berg åtgick 568 slag. Pålspetsens djup under markytan var då 22,74 m.

När sedan slagningen med 25 cm fallhöjd påbörjades, sjönk pålen 40,8 cm för de första 50 slagen och ansågs därmed vara sönderslagen. Förmodligen hade berget påträffats men pålspetsen inte fått fäste utan börjat glida redan innan nedslagningen mot berget ansågs avslutad. För ett sådant antagande talar även att pålspetsens djup under markytan var så stort som 22,74 m, när berget ansågs påträffat. Totalt hade pålen slagits med 618 slag. Pålen kasserades.

Påle nr 41 (30 x 30 cm betongpåle).

Pålen ansågs ha nått berget efter 235 slag. Pålspetsens djup under markytan var då 20,46 m.

Efter ytterligare 1800 slag, då slagningen med 35 cm fallhöjd avslutats, hade pålen för dessa slag sjunkit 23,2 cm. För 450 slag med 40 cm fallhöjd sjönk pålen ytterligare 2,5 cm. Därefter ökade sjunkningen, så att den för följande 110 slag blev 15,1 cm. Det ansågs då att pålen var sönderslagen. Totalt hade pålen då fått 2 594 slag.

Under slagningen med 30 cm fallhöjd observerades, att två låspinnar i skarven glidit ut c:a 5 mm. När pålen var färdigslagen hade en låspinne glidit ut 8 mm.

Påle nr 43 (30 x 30 cm betongpåle).

Pålen hade slagits med 220 slag, då pålspetsen ansågs ha nått berget på 21,9 m djup under markytan.

Efter ytterligare 2 675 slag, då slagningen med 45 cm fallhöjd pågick, hade pålen sjunkit 31,6 cm. Under därpå följande 25 slag sjönk pålen 6 cm, varför brott ansågs ha inträffat. Totala antalet slag var 2 920.

Påle nr 39 X (6-kantig betongpåle, Hercules 800 cm²).

Denna påle ingår ej i viaduktkonstruktionen.

När pålen slagits med 94 slag och pålspetsens djup under markytan var 17,0 m, ansågs pålen ha nått berget. Slagningen utfördes där-
efter enligt programmet. Pådens sjunkning för 3 000 slag var 21,8
cm. Totala antalet slag var 3 094.

Påle nr 40 (6-kantig betongpåle, Hercules 800 cm²).

Pålspetsen ansågs ha nått berget efter 121 slag på djupet 19,55 m
under markytan. Slagningen utfördes sedan enligt programmet. Efter
ca 500 slag kunde en vridning på 8 mm, mätt på utsidan, iakttagas i
skarven. Pådens sjunkning för 3 000 slag var 32,1 cm. Totala an-
talet slag var 3 121.

Laboratorieförsöken.

Vid böjprovningarna upplades pålelementen horisontellt på två stöd
med tre meters inbördes avstånd och belastades i tredjedelspunkterna
med två lika stora vertikala punktlaster, som stegvis ökades tills
brott uppstod i pålen. Hälften av pålelementen belastades med
lasten vinkelrätt mot två motstående parallella ytor, och andra
hälften med lasten verkande i ett diagonalplan. Efter varje last-
steg om 500 kg uppmättes pådens nedböjning i fem mätpunkter, jämnt
fördelade mellan upplagen. Efter varje laststeg undersöktes om sprickor
uppstått, samt mättes vidden av de uppkomna sprickorna. Försöksanord-
ningens utseende framgår av bil 5. För de skarvade pålelementen upp-
mättes dessutom nedböjningen i skarven på grund av egenvikt för att
utröna ev. glapp i skarven före böjprovningen.

Resultat av laboratorieförsök.

Här redovisas endast en sammanfattning av de erhållna värdena. För
detaljerade uppgifter hänvisas till Chalmers provningsanstalts in-
tyg 101 360 och 101 395.

Skarven.

Vid belastning av egen vikt visade de kvadratiske pålarna samma ned-
böjning i såväl skarvad som oskarvad pådel (0,2 - 0,5 mm). De 6-
kantiga skarvade pålelementen hade däremot en mittpunktsnedböjning
varierande från 0,4 till 2,5 mm, vilket visar att en viss vinkel-
ändring äger rum innan skarven kan börja uppta moment. Dessa ned-

böjningar är, vad beträffar de skarvade pålelementen, inlagda uppåt på diagrammen, bil. 6 och 7. Totala nedböjningen (initialnedböjningen + nedböjningen av last) fås alltså i ett visst snitt genom att addera kurvorna ovan och nedan grundlinjen.

Utböjningarnas storlek.

De kvadratiska pålelementen visar vid belastningen 15 ton (7,5 tm max moment) en största mittpunktsnedböjning på 18,4 mm. Vid belastning vinkelrätt mot en plan yta har det skarvade slagna pålelementet betydligt större nedböjning än motsvarande oskarvat för samma last. Vid belastning verkande i ett diagonalplan är förhållandet omvänt.

De 6-kantiga pålelementen har maximal mittpunktsnedböjning 18,5 mm vid 15 ton belastning (7,5 tm max. moment). För dessa pålar är nedböjningen i allmänhet något större för skarvade element än för oskarvade vid samma last. Härvid är inte den ovan nämnda initialnedböjningen på grund av egenvikt medräknad. Se vidare bil. 6 och 7.

Samband mellan böjande moment och krökningsradie

Sambandet mellan böjande moment och krökningsradie framgår av bilaga 9. Krökningsradien är beräknad ur uppmätta deformationer i pålens mittdel, där momentet är konstant. Tyvärr saknas deformationsmätningar för belastningar över 15 ton (7.5 tm) Av bilaga 9 framgår att moment - krökningsradiekurvorna överensstämmer relativt väl för oskarvade pålar av de båda typerna. Kurvorna för de skarvade fyrkantiga pålarna skiljer sig icke nämnvärt från de oskarvade. För de skarvade sexkantiga pålarna är emellertid spridningen större med två kurvor liggande under den relativt väl samlade gruppen av kurvor för övriga pålar.

Första uppkomna sprickan.

Första för ögat synliga spricka noterades vad beträffar de 6-kantiga pålarna vid ett moment av 2,1 tm i genomsnitt för de åtta påldelarna. Motsvarande siffra för de kvadratiska var 2,3 tm. Den vid första spricka uppträdande uppmätta krökningen och tillhörande böjande moment redovisas i diagram, bil. 8. Det är att märka att krökningsradien är uträknad med hjälp av uppmätta deformationer i de tre mellersta mätpunkterna, dvs på den sträcka, där momentet är konstant.

Största tolererade spricka.

Man torde kunna antaga att 0,2 - 0,3 mm sprickor är "självläkande" och alltså skulle kunna tolereras i betongpålar. I genomsnitt uppträder 0,2 mm sprickor för de kvadratiske pålarna vid momentet 5,0 tm (lägsta värde 3,7, högsta 7,2 tm) och för de 6-kantiga vid 4,6 tm (3,7 resp. 5,2 tm). På samma sätt som vid första för ögat synliga spricka redovisas första observerade spricka med vidderna 0,2 och 0,3 mm i diagram, bil. 8.

Brott

Momentet vid brott var för samtliga provade pålelement av båda fabriken större än 9,0 tm (lägsta värde 9,05, högsta 10,7 tm). I två fall måste försöken avbrytas före brott vid 11,2 resp. 11,7 tm på grund av provningsapparaturens begränsning. Se nedan. För samtliga kvadratiske pålar erhöles sekundärt krossbrott i betongen på grund av flytning i dragarmeringen med undantag av en skarvad påle, där svetsbrott i ett förankringsjärn orsakade kollapsen. De 6-kantiga pålarna erhöles på samma sätt sekundärt krossbrott i betongen, undantagandes två skarvade pålar, vilka brast i själva skarven.

Moment vid brott

Påle	kvadratisk		6-kantig	
	ej slagen	slagen	ej slagen	slagen
I	9,75	9,65	10,70	9,55
II	9,55	9,65	9,60	9,05
III (skarv)	10,30	9,20	9,80	9,15
IV (skarv)	> 11,70	> 11,20	10,45	10,45

Pålarna I och III är provade med lasten vinkelrätt mot en plan yta, II och IV med lasten i ett diagonalplan.

Det bör observeras, att de kvadratiske pålarna har större tvärsnitt än de 6-kantiga (900 resp. 800 cm²), se bilaga 5. Båda de slagna 6-kantiga pålarna har erhållit 3 000 slag enligt programmet under det att de två slagna kvadratiske pålarna gått sönder eller glidit utmed berget innan detta slagantal uppnåts.

Trots den ganska hårda slagning som pålarna utsatts för har såväl pålar som pålskarv motstått påfrestningarna. Någon större skillnad mellan slagen och icke slagen påle i förmåga att upptaga moment sy-

nes icke föreligga. De båda provade skarvtyperna och pålarna synes väl motsvara rimliga krav på en högklassig påle.

Man får icke dra för vittgående slutsatser av ett begränsat försök som detta, men försöksresultaten pekar på att en krökningsradie av 100 m synes kunna tolereras med hänsyn till sprickbildningen i pålen. Vid denna krökningsradie är emellertid betong- och armeringsspänningarna som regel högre än vad som tillåtes i gällande betongbestämmelser, såvida det icke är fråga om en initialkrökning (exempelvis vinkeländring i pålskarv på grund av snett ingjutna beslag). Flera andra faktorer är emellertid också av betydelse, exempelvis den tillåtna lastens storlek och knäckningsrisken, vilken varierar med omgivande jordlagers mothållande förmåga.

Det kan nämnas att följande regler beträffande minsta tillåtna krökningsradier tillämpats inom Statens Järnvägar vid pålningsarbetena för Väst kustbaneviadukten vid Gubbero:

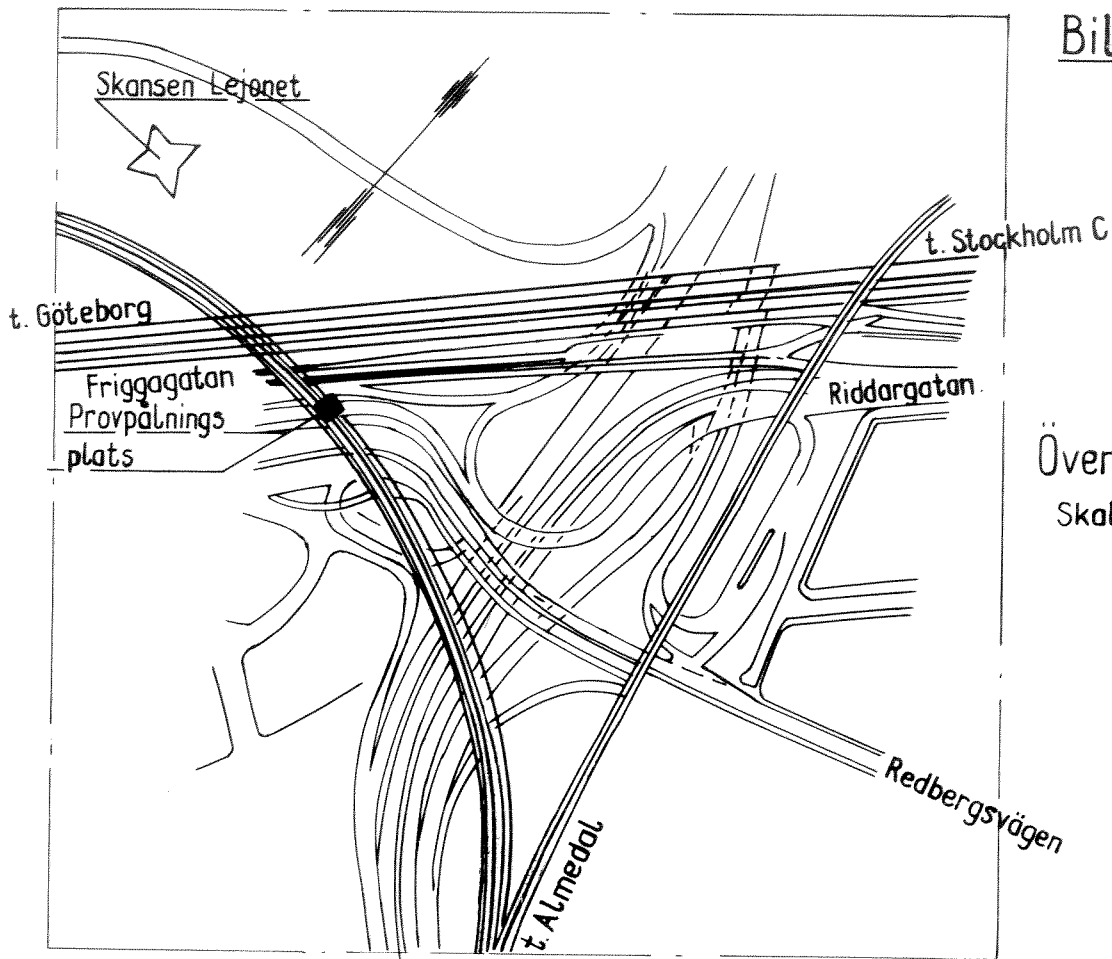
Uppmätt radie skall vara minst 100 m på 2 m längd längs pålen (enstaka krök på en och samma påle) och minst 400 m på 10 m längd längs pålen. För långa pålar, som i sin nedre del står i fastare lerlager, sand eller grus, bör man kunna minska på kravet på 400 m radie för den del av pålen som är belägen i dessa fastare jordlager.

Det kan även nämnas, att ytterligare belysande material kommer att erhållas vid nu pågående försök, vilka kommer att redovisas i ett kommande meddelande. (Pålslagning mot släntberg. Försök vid skansen Lejonet i Göteborg).

Ingenjör Waldemar Pejrud har svarat för fältförsöken och redovisningen av desamma. Civilingenjör Håkan Berger har bearbetat laboratorieresultaten

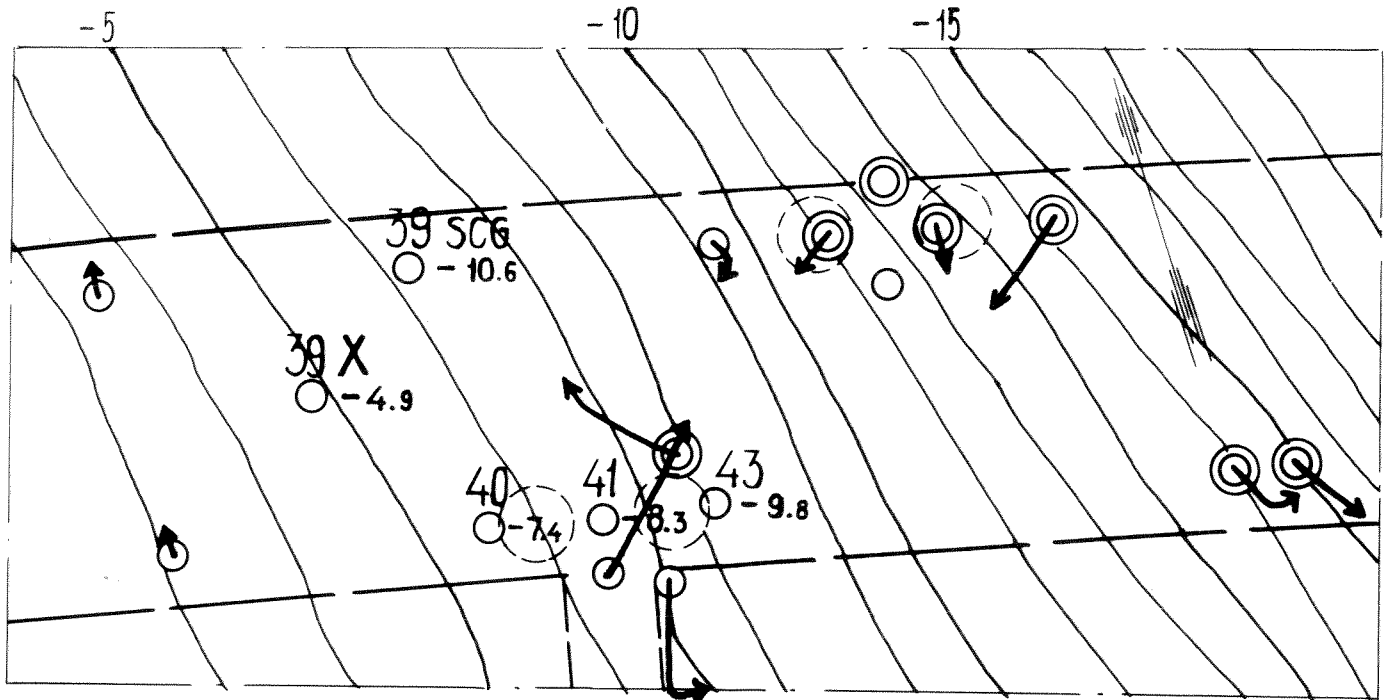
Stockholm den 27 augusti 1964.

—ooOoo—



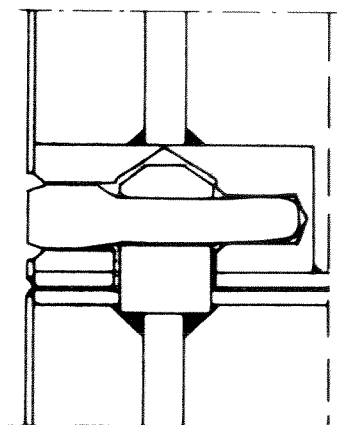
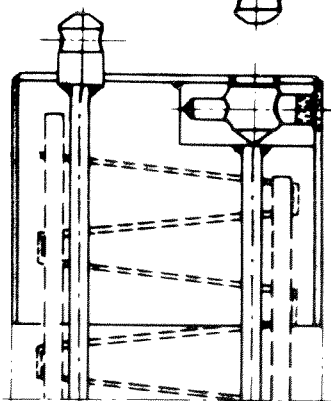
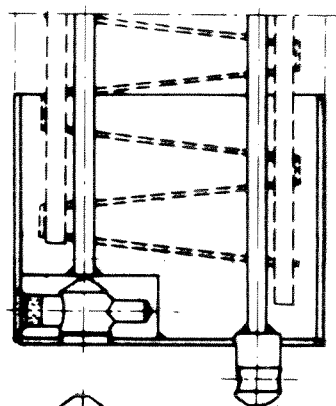
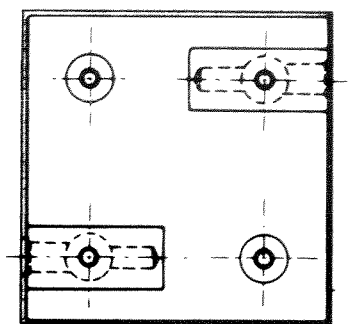
Pålplan

Skala 1:100

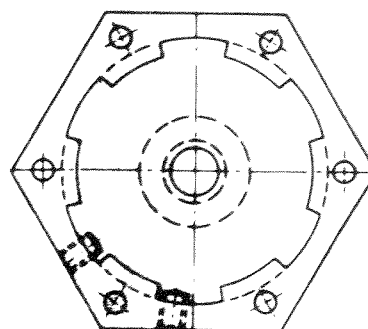
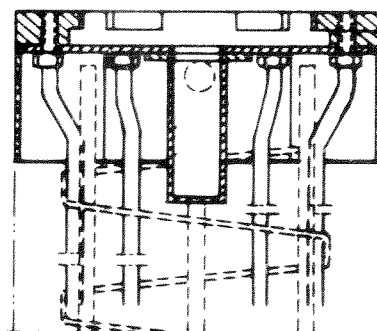
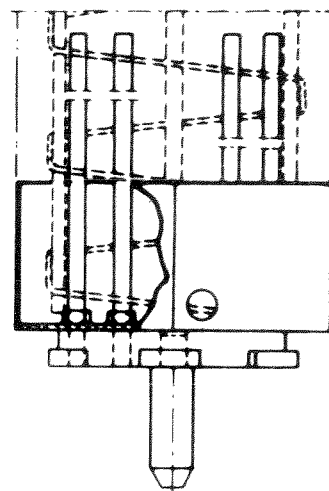
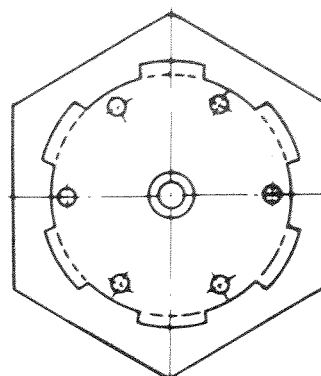


Provpålning mot släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg.
Översiktsplan och pålplan.

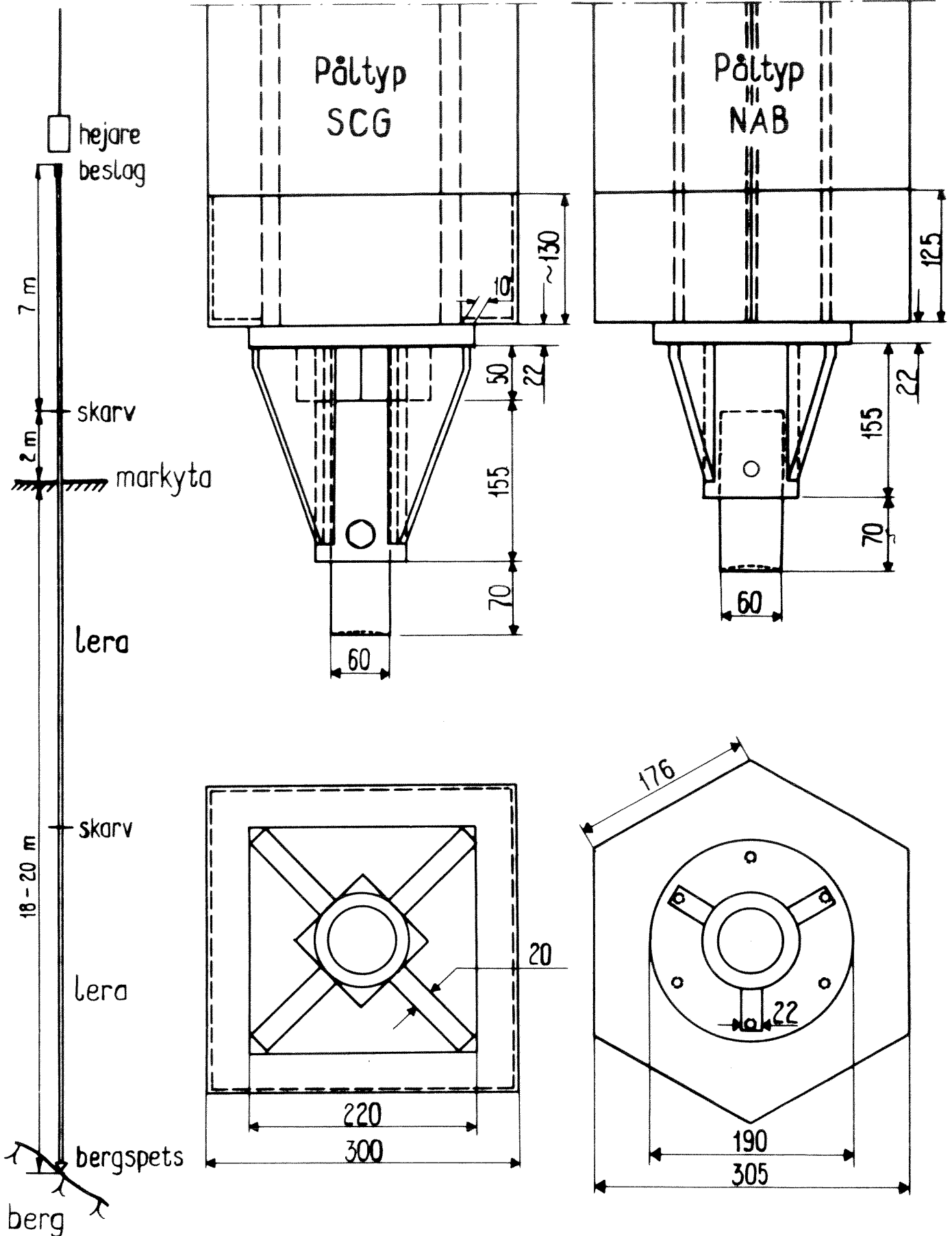
ABB - skarv



HERKULES - skarv



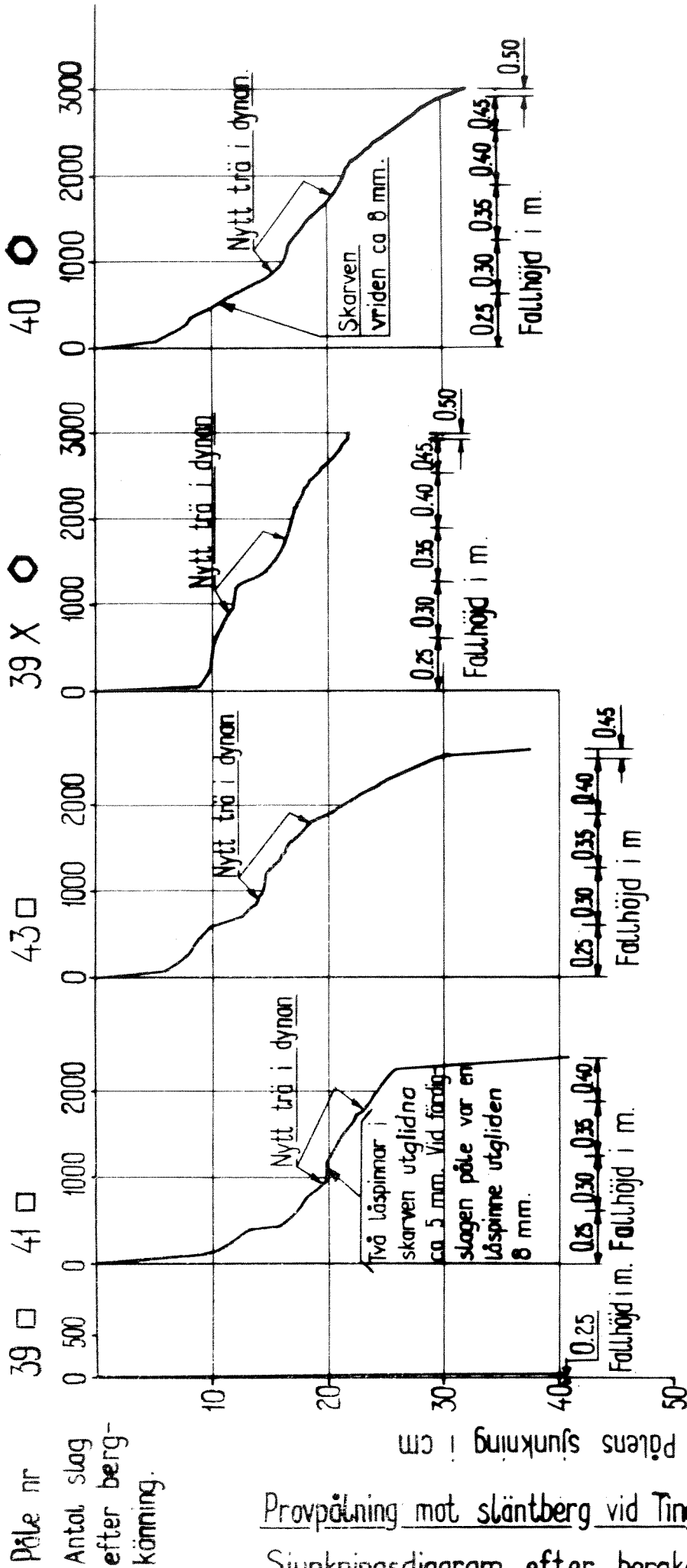
Provpålning mot släntberg vid
Tingstadsleden, Göteborg.
Böjprovning av betongpålar.
Pålskarvar.



Pålprovning mot släntberg vid
Tingstadsleden, Göteborg.
Pållängder och bergspetsar.

Sjunkningsdiagram.

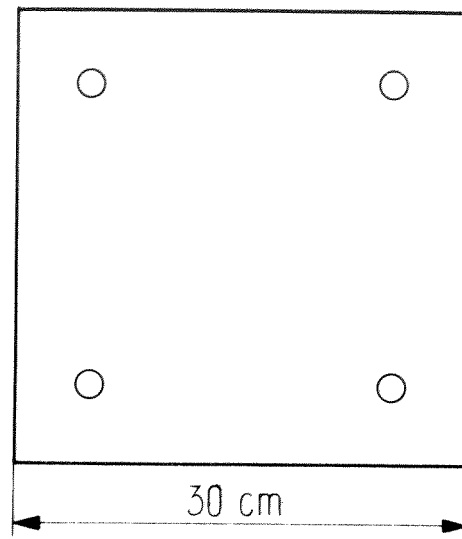
3 ton fallhejare.



Bil 4

Pöle nr	39	41	43	39 X	40
Pölspetsens djup i m under markytan vid bergkänning	22.74	20.46	21.90	17.00	19.55

Provpöling mot släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg.
Sjunkningsdiagram efter bergkänning.



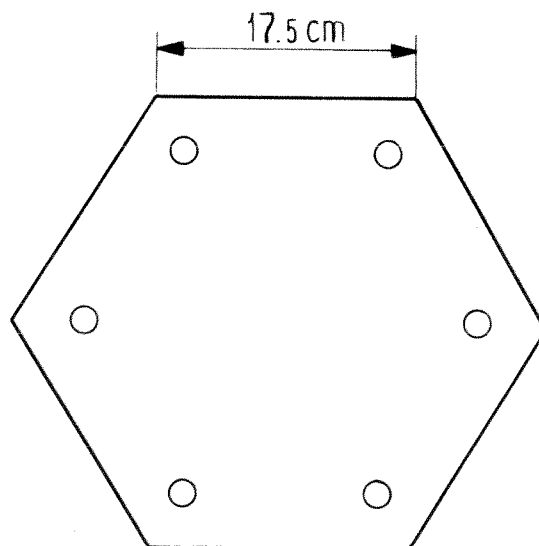
SCG.

30 × 30 cm

4 st $\varnothing$ 19 Ks 60

Btg K 500

Skarvtyp : ABB



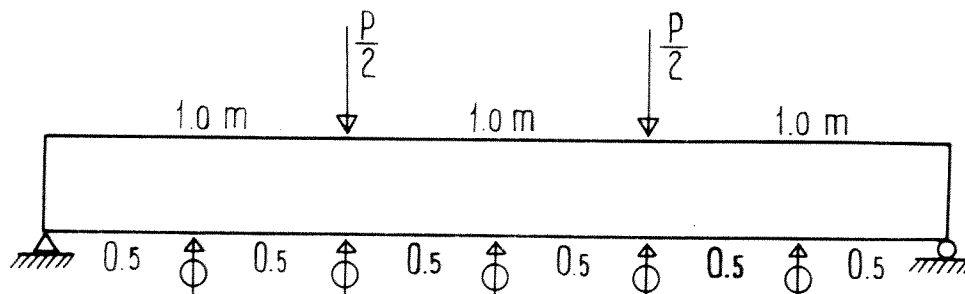
NAB

Hercules 800 cm²

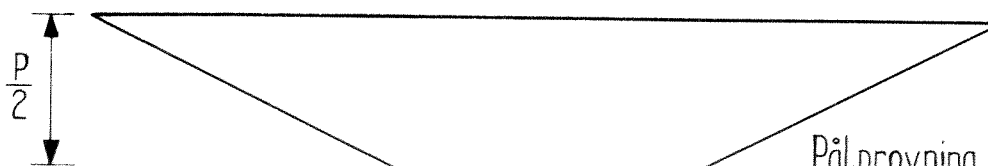
6 st $\varnothing$ 16 Ks 60

Btg K 500

Skarvtyp : Hercules

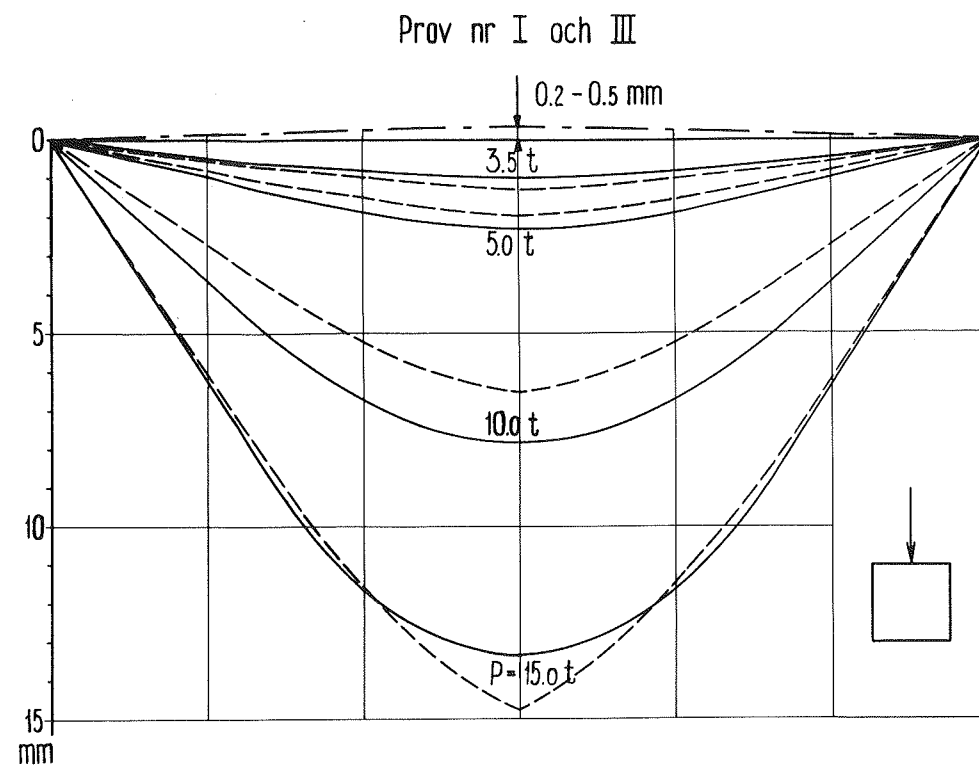


Provanordning.

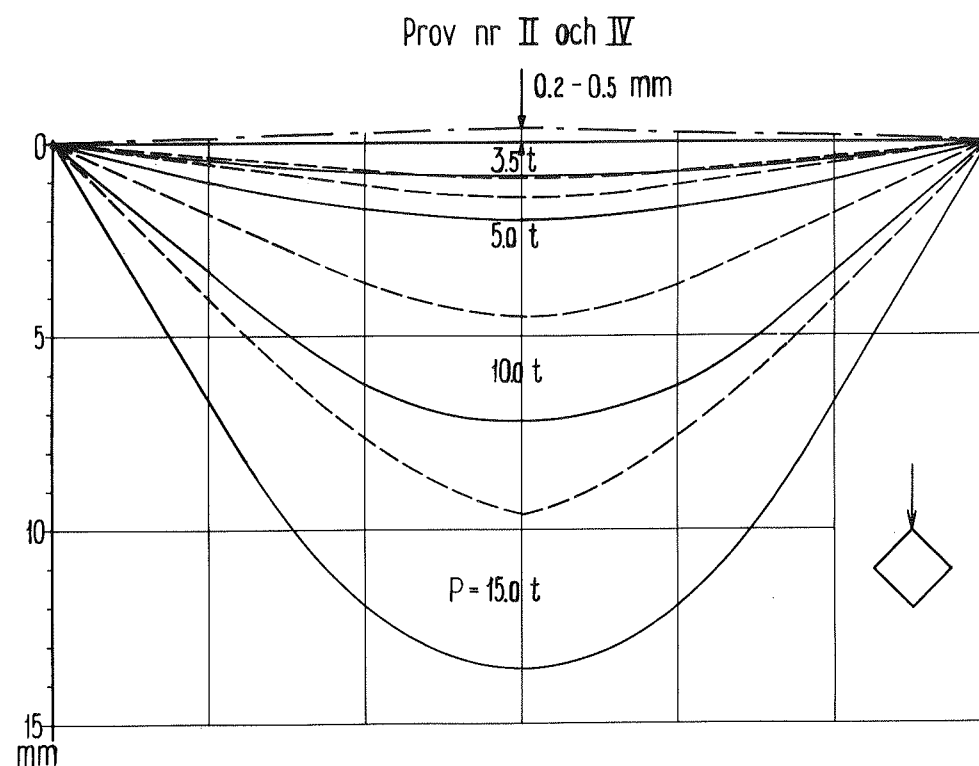
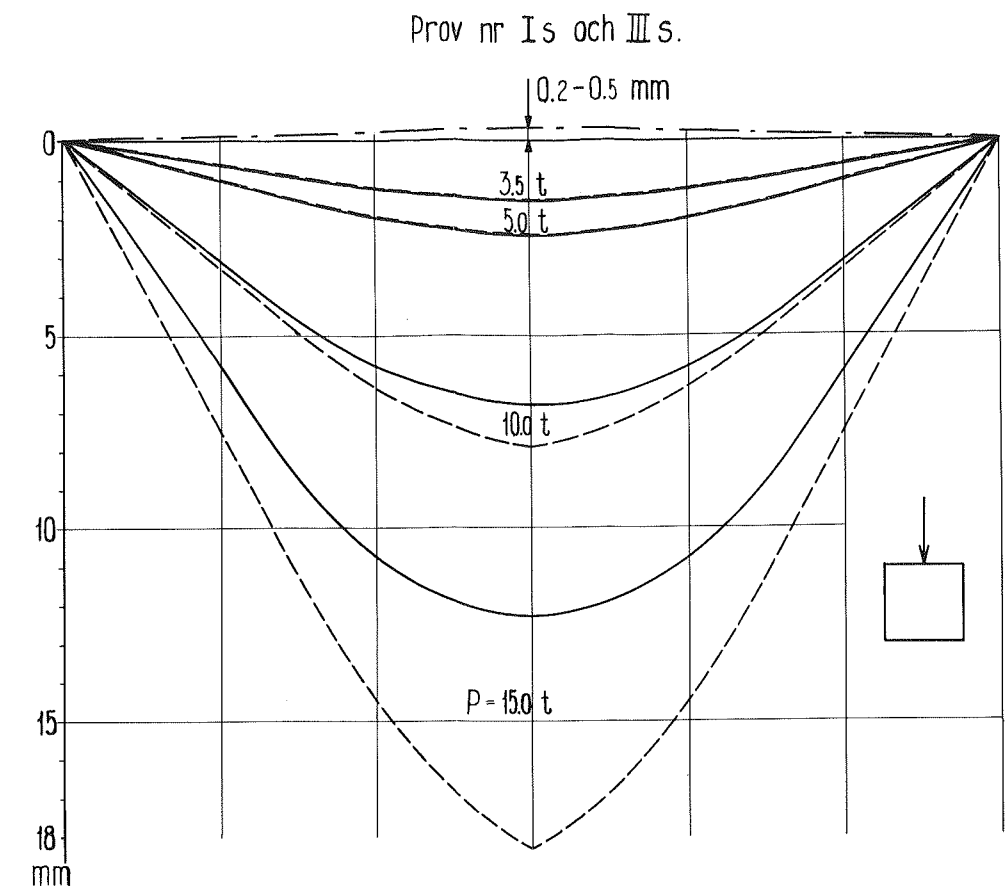


Momentdiagram.

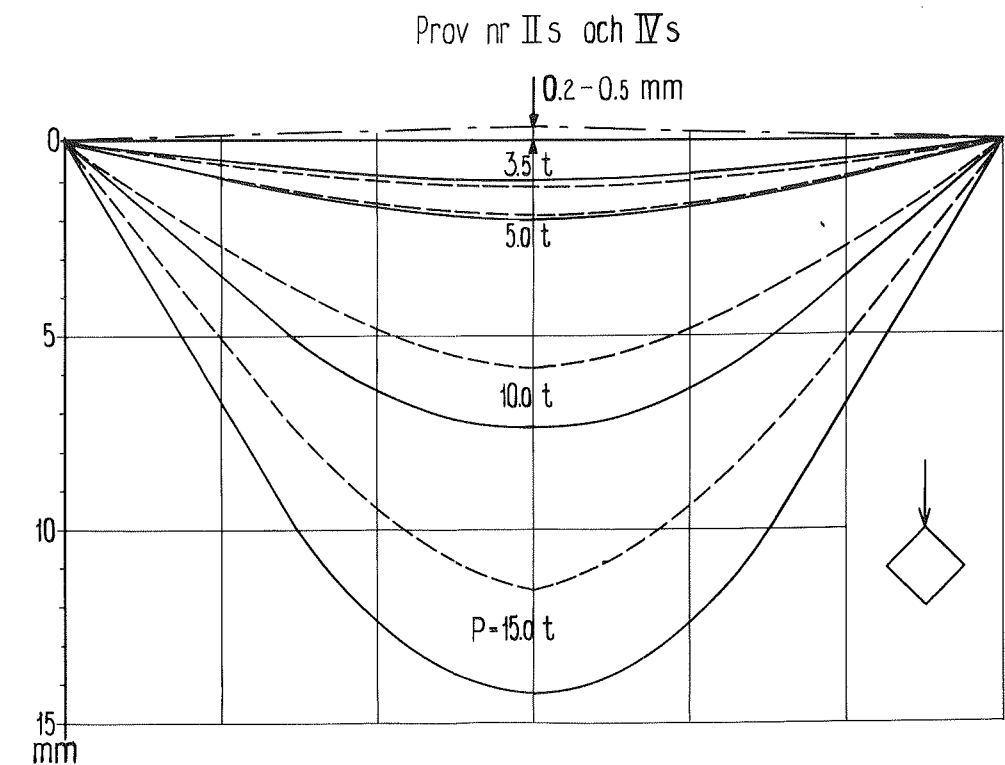
Pålprovning mot släntberg vid
Tingstadsleden, Göteborg.
Böjprovning av betongpålar.



Nedböjning av egen vikt.
Nedböjning av anbringat böjande moment. (exkl. egen vikt.)



Nedböjning av egen vikt.
Nedböjning av anbringat böjande moment. (exkl. egen vikt.)



Teckenförklaring:

Streckad linje = skarvad påle.

Heldragen --- = oskarvad påle.

Streckprickad linje = skarvad och oskarvad påle.

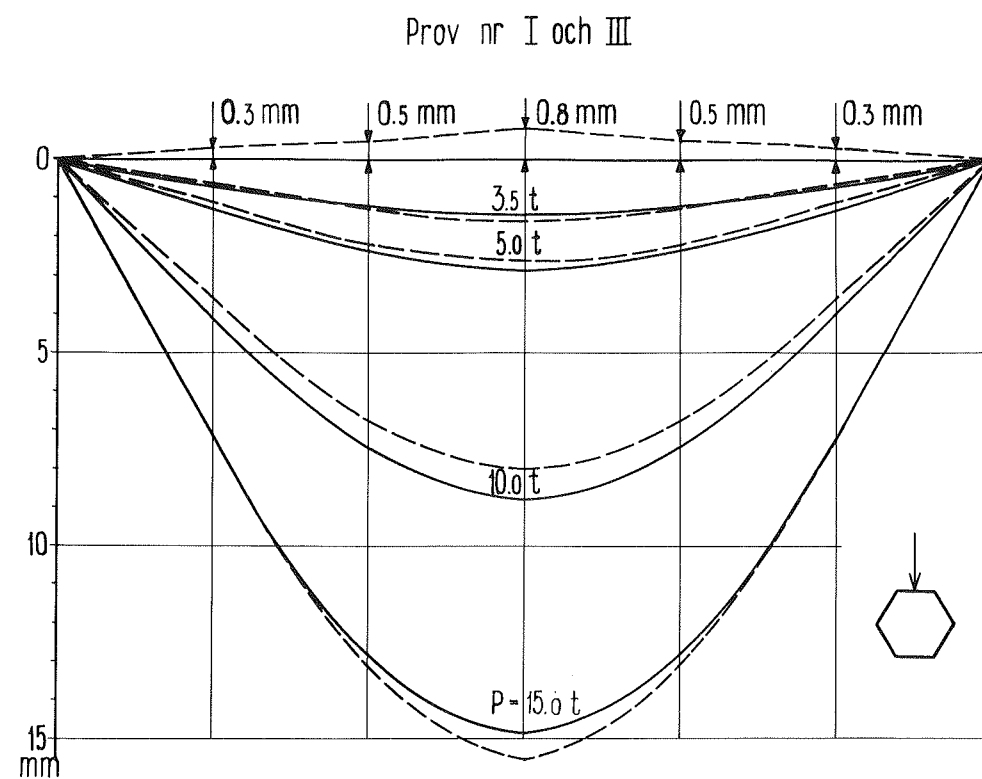
s = slagen påle.

Provpålning mot släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg.

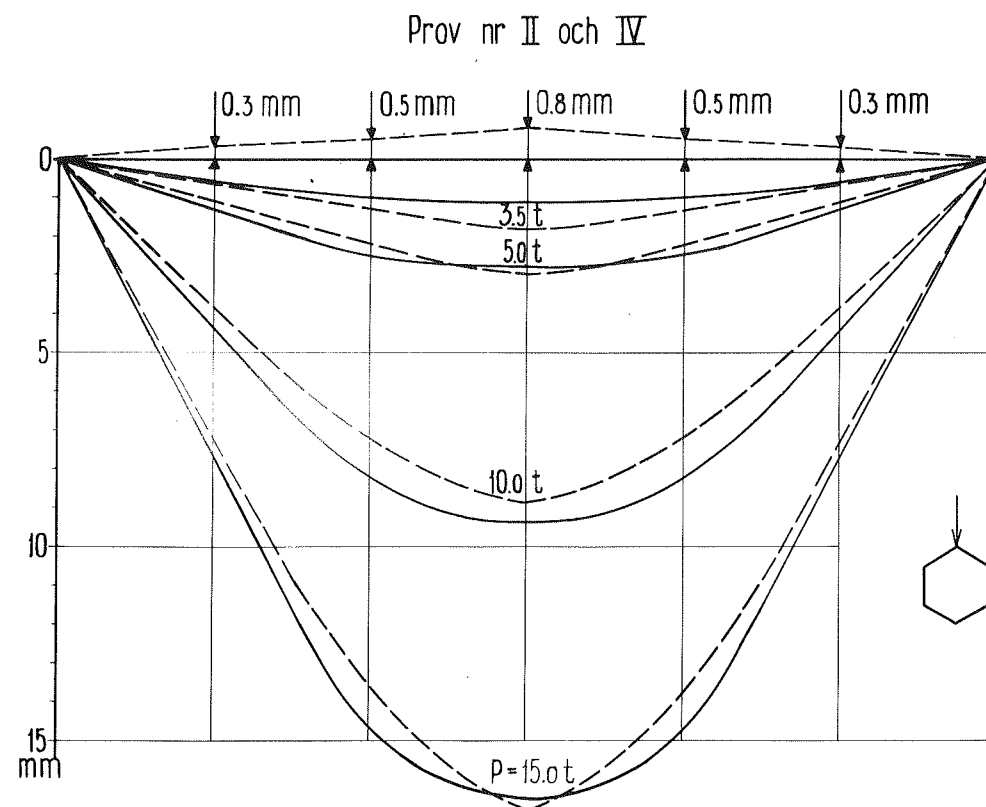
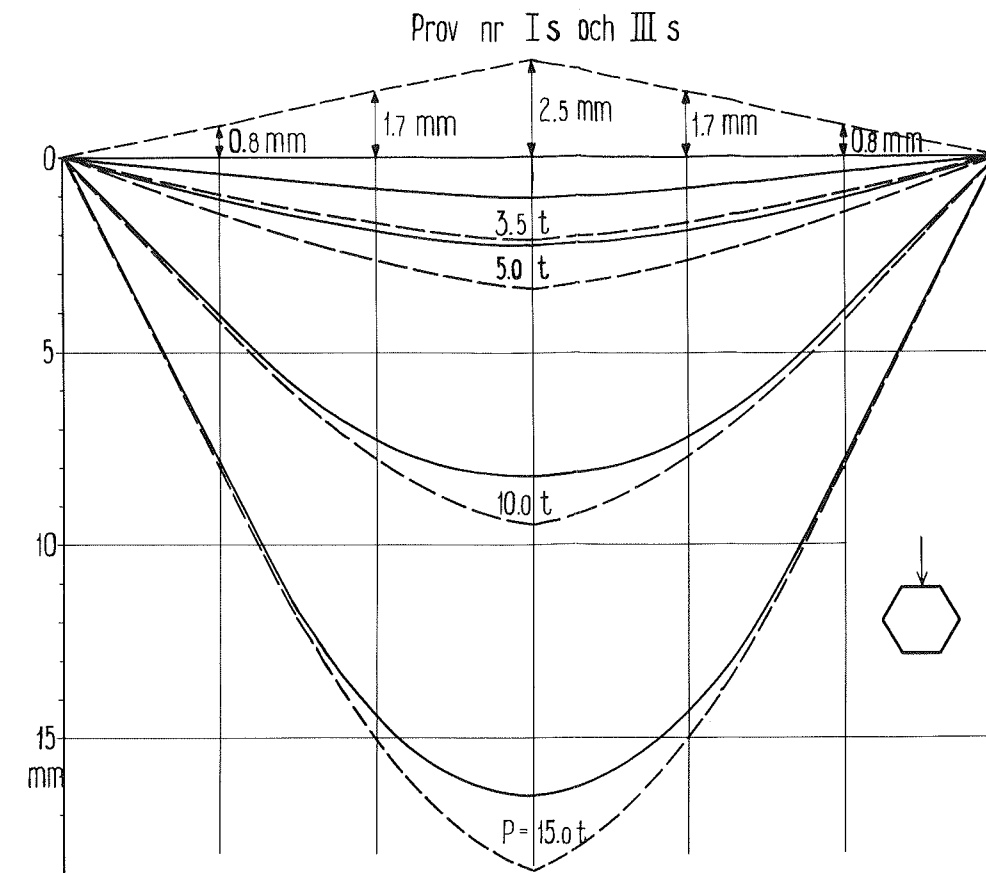
Böjprovning av 30 × 30 cm betongpålar K 500.

Nedböjningskurvor vid olika belastningar.

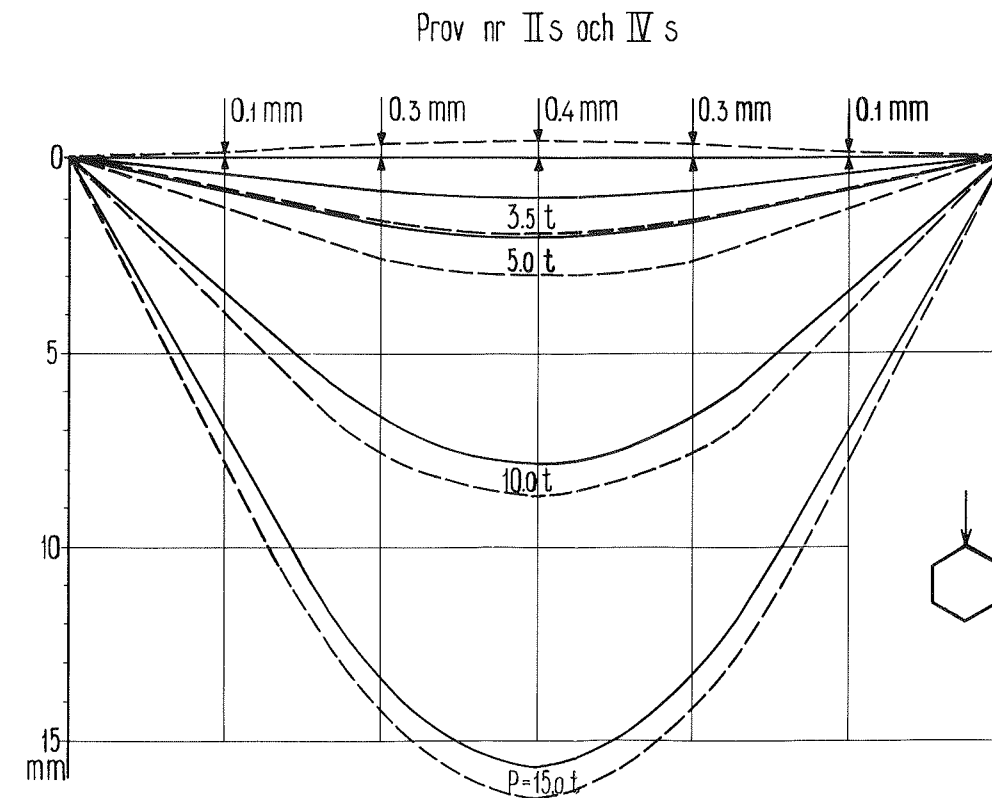
Enligt Chalmers provningsanstalts intyg nr 101360.



Nedböjning av egen vikt.
Nedböjning av anbringt böjande moment. (exkl. egen vikt).



Nedböjning av egen vikt.
Nedböjning av anbringt böjande moment. (exkl. egen vikt).



Teckenförklaring:

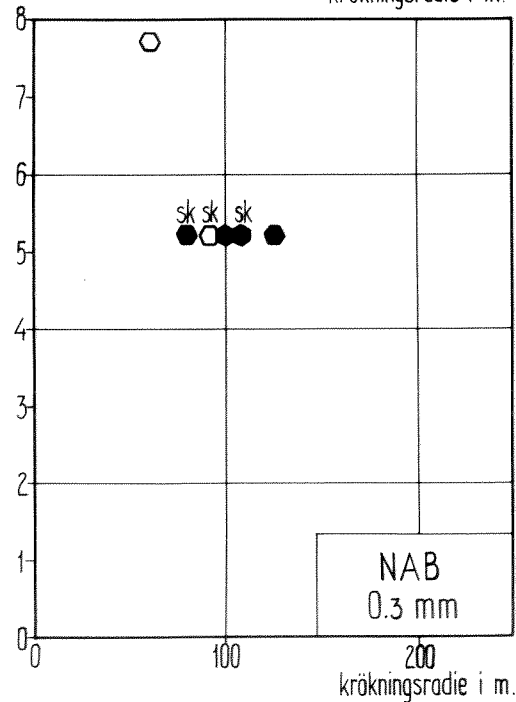
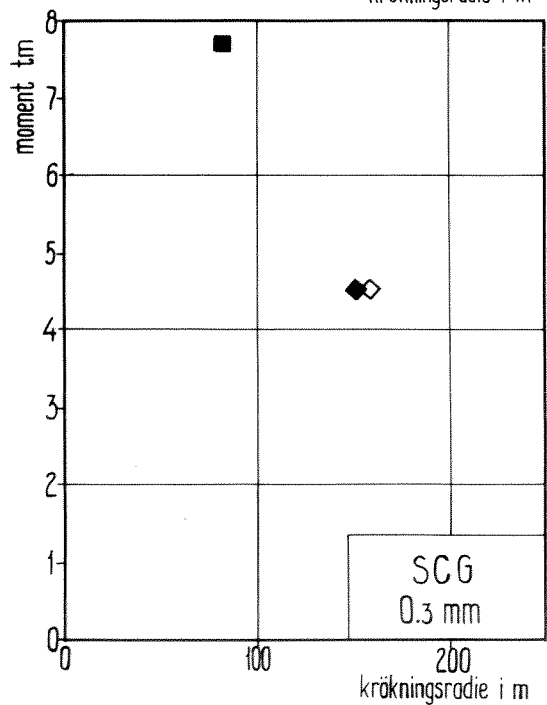
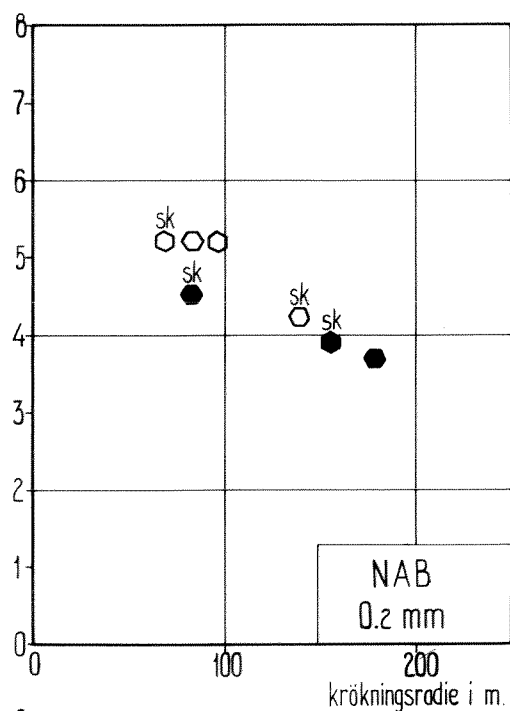
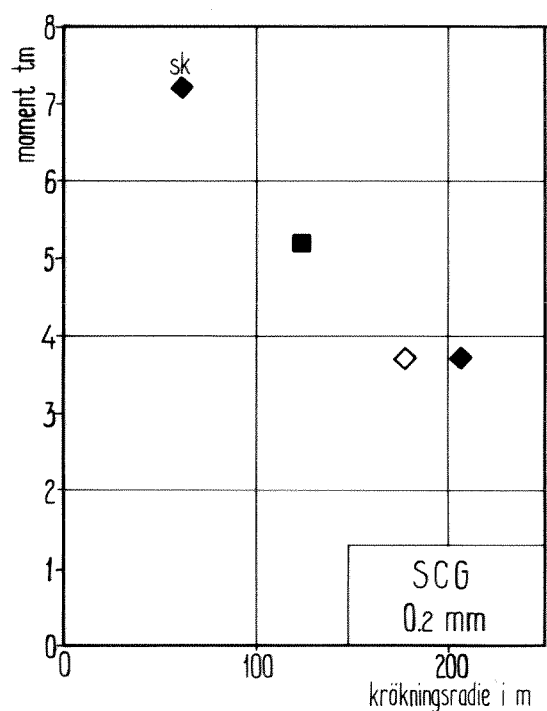
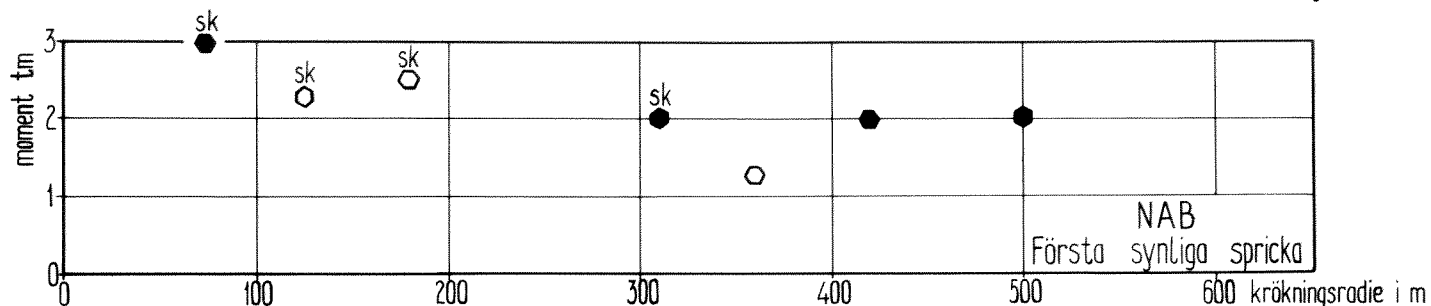
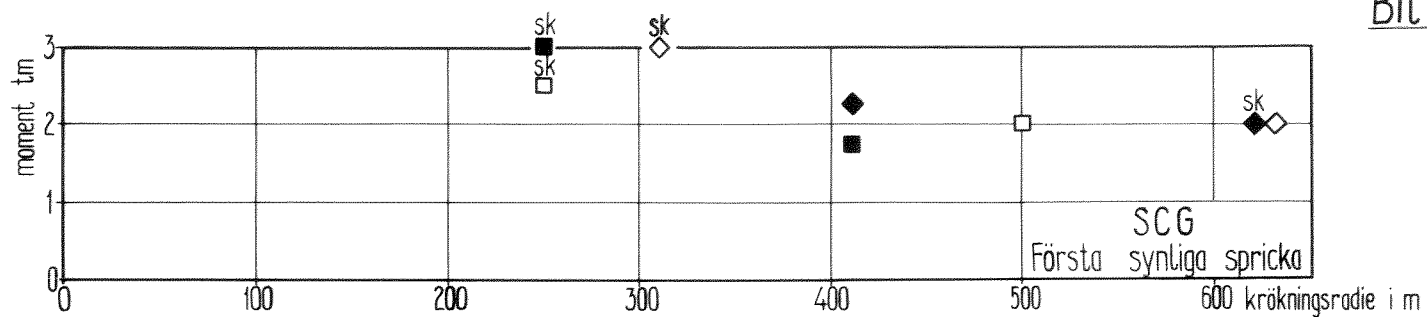
Streckad linje = skarvad påle.
Heldragen --- = oskarvad påle.
s = slagen påle.

Provpålning mot släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg

Böjprovning av 6-kantiga betongpålar, 800 cm^2 , K 500.

Nedböjningskurvor vid olika belastningar.

Enligt Chalmers provningsanstalts intyg nr 101 395.



Teckenförklaring:

◇ Skanska Cement (SCG)

○ Nya Asfalt (NAB)

◆ Slagen

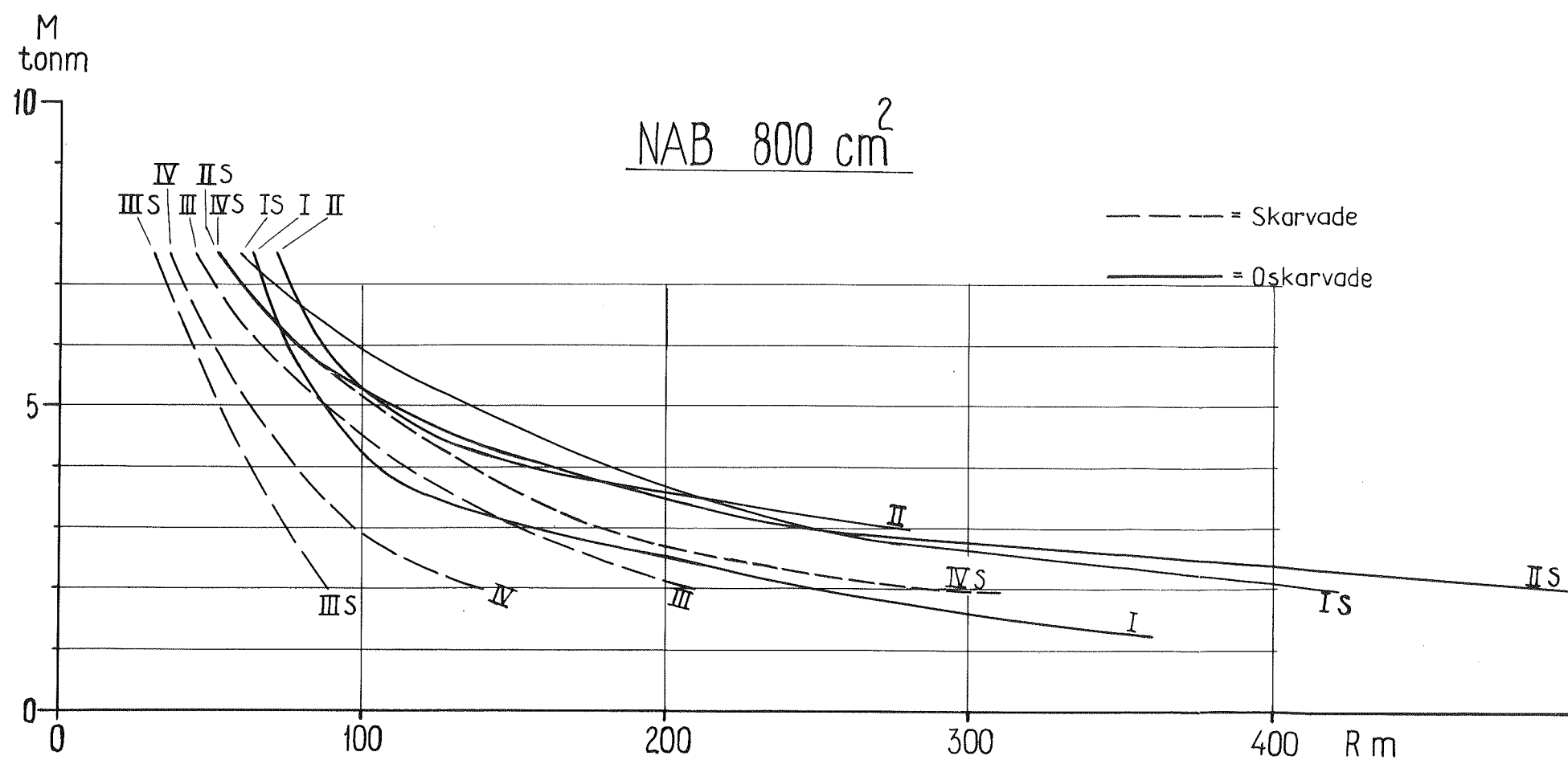
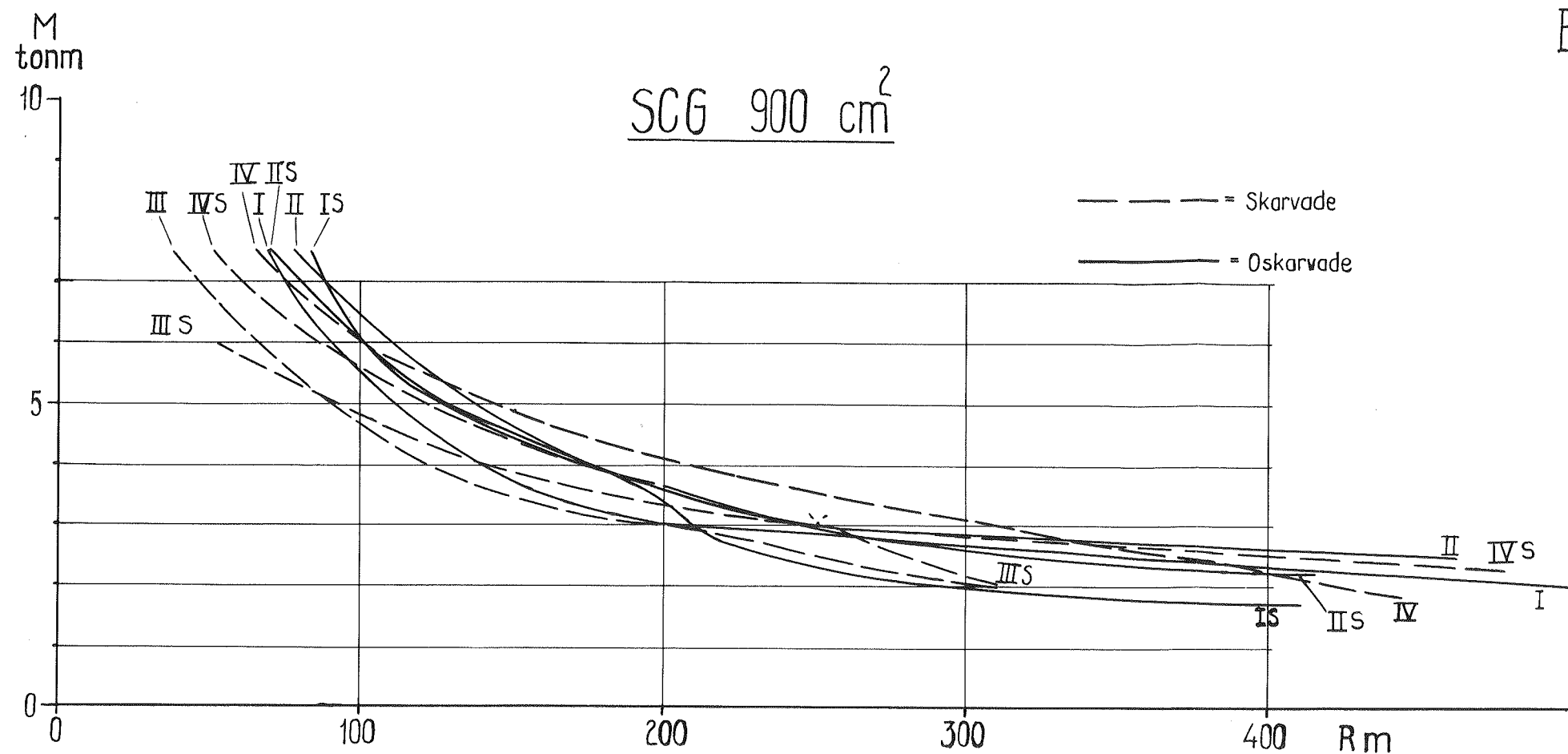
◇ Ej slagen

sk Skarvad

Provpålning mot släntberg
vid Tingstadsliden, Göteborg.

Böjprovning av betongpålar.

Moment och krökningsradier
vid första för ögat synliga
spricka samt vid första spricka
med vidden 0.2 respektive 0.3
mm.



Provpålning mot släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg.
Samband mellan böjande moment och krökningsradie.

Tidigare utgivna handlingar

Meddelanden

Nr 1	Slagningsprov av pålskor med bergdubbar	1963
nr 2	Provpålning för broar inom blivande Olskroks- och Gullbergsmoten i samband med byggande av Europaväg 6 genom Göteborg.	1964

Rapporter

Slagning och provbelastning av långa betongpålar. Försök vid Gubbero i Göteborg, Statens Råd för Byggnadsforskning, rapport nr 99.	1964
--	------