



Meddelande nr 17

BERGDUBBENS HÅLLFASTHET
Resultat av statiska belastningsförsök

Sven-Erik Rehnman x)

x) Statens geotekniska institut

Stockholm juni 1970

De i rapporten framförda åsikterna är författarens och behöver ej vara
pålkommisionens ståndpunkt

Pris 20 kr.

THE STRENGTH OF ROCK POINTS. RESULTS FROM STATIC LOAD TESTS

English summary

More than 65 % of all the piles which were driven in Sweden in 1968 (3.4 million meters) were precast concrete piles. These piles were generally provided with a point of high strength hardened steel ("rock point") when they were driven to rock (Fig. 1) or through soils containing large stones or boulders. The diameter of the steel points (dowels) is generally 60 mm (2.36 in.). Loads up to 60 Mp (132 kips) are often allowed on such piles. Even higher loads are permitted under favourable conditions. When the applied load is transferred to the underlying rock through the rock point, the contact stress under the steel tip often exceeds 2.100 kp/cm^2 (30.000 psi). This is often the case when the piles have been driven into granite through a layer of very soft clay. A contact stress of 2.100 kp/cm^2 is of the same order of magnitude as the unconfined compressive strength of many rock materials in Sweden.

The purpose of this investigation was to evaluate the factors which have the largest influence on the strength of rock points and to propose design criteria. The investigation included about 60 load tests with different types of rock points.

The hardened steel dowels were placed with the concave end perpendicular to the surface of a granite block which was cast in concrete in a heavy steel pipe (Fig. 4). The dowels were then loaded by a hydraulic press until failure occurred in the dowel or in the rock. Three different loading sequences were used (Fig. 5) since the failure load proved to be much influenced by the testing method.

II

The results from this and from previous investigations (see list of references) indicate that the diameter of the dowel should be about 60 mm (Fig. 20). The steel quality should be SIS¹⁾ 142090 with 0.3 to 0.8 % Cr (i. e. 0.55 % C, 1.7 % Si, 0.8 % Mn, < 0.035 % P, < 0.030 % S, 0.3 to 0.8 % Cr).

However the most important factor that affects the strength of the dowel is the hardening. The hardness has to be chosen in accordance with the steel quality. The required hardness of a $\varnothing$ 60 mm dowel, made of steel SIS 142090 with 0.3 to 0.8 % Cr is shown in Fig. 20. The test results show that it is often necessary to measure the hardness and the depth of hardening on some random samples.

1) SIS = Swedish Industrial Standard

BERGDUBBENS HÅLLFASTHET. RESULTAT AV STATISKA BELASTNINGSFÖRSÖK

<u>INNEHÅLL</u>	<u>SID</u>
Sammanfattning	IV
I Inledning	1
II Tidigare undersökningar	4
III Pålkommisionens undersökning	9
IV Målsättning	10
V Beskrivning av försöksmetoden	11
:1 Allmänt	11
:2 Olika belastningsprogram	12
:3 Identifieringskod för olika försök	14
VI Presentation av dubbmaterialet	15
:1 Allmänt	15
:2 Riktanalyser och härdning	15
:3 Indelning av dubbmaterialet	17
VII Resultat och diskussion	19
:1 Allmänt	19
:2 Jämförelse mellan olika belastningsmetoder	19
:3 Jämförelse mellan bergdubbar av olika stålqualitéer	21
:4 Hårdhetsmätningar	21
:5 Inverkan av dubbens geometriska utformning	24
:6 Jämförelse mellan dynamiska och statiska belastningsförsök med bergdubbar	25
:7 Hårdhetsprovning och analys av två sönderslagna bergdubbar	26
VIII Slutsats	29
Litteratur	31
Bilaga 1 Dubbmaterial och försöksresultat	
Bilaga 2 Sammanställning av hårdhetsmätningar	
Bilaga 3 Omvandlingstabell för hårdhet - brottgräns hos stål	

SAMMANFATTNING

Vid stödpålning mot släntberg förser man pålarna med s k bergskor, för att pålarna ska kunna få fäste i berget (fig. 1). Den del av bergskon som vid slagningen tränger in i berget måste därför utformas på ett speciellt sätt. Vanligen förser bergskon med en s k bergdubb, som är härdad. Dubbens ändyta utformas ofta svagt skålformad (konkav) för att den lättare skall fästa vid berget. I samband med inmejslingen utsätts dubben för höga påkänningar och om dubben då spricker, kan det vara svårt att erhålla ett säkert fäste för pålen.

Under senare år har ett flertal s k bergdubbar vid uppdragning visat sig vara sönderslagna. IVA:s pålkommission beslöt därför att utreda hur olika faktorer påverkar dubbens hållfasthet samt om möjligt utarbeta en enkel provningsmetod. För detta ändamål anskaffades 45 bergdubbar med olika utformning, hårdhet och stålqualité.

Dubbens skålformade ändyta medför att man måste ta stor hänsyn till den belastningsmetod som används vid jämförande försök. Den konkava ytans radie är vanligen 100 mm, när dubbens diameter är 60 mm. Detta medför att när bergdubben under neddrivningen av pålen träffar bergytan så kommer "kontaktytan" mellan dubb och berg att utgöras av en cirkelbåge med radien 30 mm, dvs om dubben träffar vinkelrätt mot bergytan erhålls kontakt längs en cirkel. Efter ett fåtal slag börjar dubben tränga in i berget och kontaktytan blir större. En mycket viktig detalj i detta sammanhang är den krossning av berget som uppstår under dubbens egg (14). Denna krossning medför att bergmaterialet omedelbart utanför dubbens egg försvinner och inte ger eggen något stöd från sidan.

De första försöken syftade till att få fram en lämplig belastningsmetod. Dubbarna skulle i en 600 Mp tryckpress pressas vinkelrätt mot ett lämpligt underlag och efter ett lämpligt belastningsschema. Inledande försök visade att när bergdubben med sin skålformade ändyta pressades mot en stålplatta så trängde dubbens egg in i stålet och samtidigt erhöles ett sammanhållande sidotryck från

stålplattan, vilket inte var önskvärt. För de fortsatta försöken användes istället granitblock som underlag. Granitblocken, 30 x 30 x 30 cm, göts in i kraftiga stålrör för att de inte skulle spricka vid belastningsförsöken.

Belastningsprogrammet visade sig inverka på dubbarnas förmåga att motstå sprickbildning och stukning. När lasten påfördes med konstant lastökning förblev kontaktytan mellan dubbens egg och granitytan mycket liten, eftersom inträngningen var obetydlig. Detta medförde i sin tur att påkänningarna i dubben blev mycket höga och tangentiella sprickor slog lätt upp i närheten av eggen. Det visade sig till och med att dubbar med mycket hög hårdhet sprack lättare än dubbar med liten hårdhet. Orsaken till detta torde vara att de mjukare dubbarna stukades lättare och kontaktytan mellan dubb och granit på så sätt blev större.

Ytterligare försök visade att det var lämpligare att påföra belastningen stegvis med avlastning mellan varje laststeg. På så sätt utmattades granitytan något och dubbens inträngning blev större med lägre påkänningar i dubbens egg som följd. Denna belastningsmetod motsvarar bättre de förhållanden som råder vid påslagning.

Det är i huvudsak fyra olika faktorer som påverkar dubbens hållfasthet¹⁾, nämligen hårdhet, stålqualité, form och ytjämnhet. För en undersökning som denna skulle det behövas betydligt fler än 45 dubbar för att kunna särskilja inverkan av var och en av dessa fyra faktorer. Emellertid visar resultaten vilka faktorer som har den största inverkan på dubbens hållfasthet.

Vad beträffar dubbens form så är det givetvis av stor betydelse hur eggen utformas (fig. 3). En klenare egg måste kompenseras genom val av en bättre stålqualité. Bestämmande för dubbens utformning och därmed även erforderlig stålqualité är i första hand dubbens användningsområde. Om dubben enbart

1) Med hållfasthet menas i detta sammanhang dubbens förmåga att motstå sprickbildning, stukning och krökning.

skall tjänstgöra som skydd för pålspetsen under neddrivningen, kan dubbens egg fasas och därmed ökar hållfastheten betydligt. När bergdubben däremot skall mejslas in i underliggande berg, bör eggen utformas utan fasning och därmed måste bättre stålqualité väljas. I fortsättningen kommer endast denna senare typ av bergdubbar att behandlas.

De stålqualitéer som ingått i undersökningsmaterialet har till största delen varit sådana som används för bergdubbar och som man genom erfarenhet och olika försök funnit vara lämpliga. Resultaten i denna undersökning tyder på att ett stål SIS 2090 är lämpligt för bergdubbar. Kromhalten bör dock vara 0,4 - 0,8 % i stället för 0,3 % som riktanalysen anger.

Försöksresultaten visar att dubbens hårdhet och härddjup är avgörande för hållfastheten. Det är därför viktigt att respektive stålqualité härdas enligt stålleverantörens anvisningar och under noggrann kontroll av såväl tid som temperatur. Hårdheten (jmf bilaga 3) i en $\varnothing$ 60 mm dubb bör vara 54 till 58 HRC vid eggen och ej understiga 40 HRC i dubbens centrum linje, 75 mm från den skålade ändytan. Det har emellertid i några fall varit svårt att bestämma dubbarnas hårdhet och härddjup och man borde därför utarbeta en enkel och rättvisande metod för denna typ av kontroll.

BERGDUBBENS HÅLLFASTHET. RESULTAT AV STATISKA BELASTNINGSFÖRSÖK

I INLEDNING

Denna undersökning har utförts av den s k bergspetsgruppen inom IVA:s pålkommission. Som rådgivare inom gruppen har verkat Överdirektör B Broms SGI, Professor C H Fisher, Uppsala Universitet, Civilingenjör L Hellman Orrje & Co - Scandiakonsult samt Direktör S Severinsson SPS-verken. För utredningsarbetet har Civilingenjör S-E Rehnman SGI svarat.

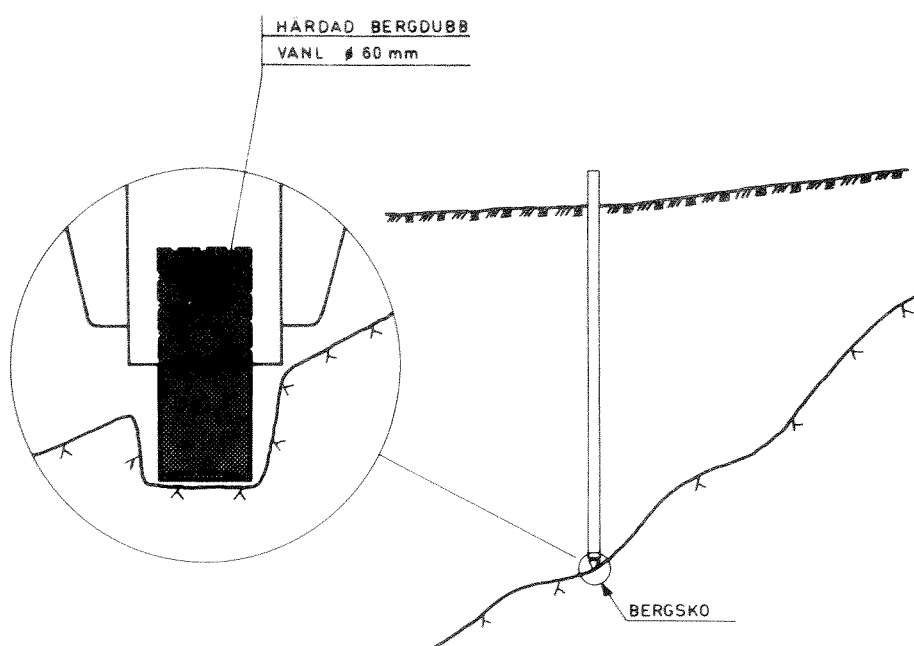


Fig. 1 FÖR ATT EN STÖDPÅLE LÄTTARE SKALL FÅ FÄSTE I EN LUTANDE BERGYTA, FÖRSES PÅLEN MED EN SÅ KALLAD BERGSKO

End bearing pile driven to rock. The pile point is provided with a steel dowel (rock point)

Vid påslagning förstärker man ofta pålspetsarna med s k bergskor och det är av två skäl. För det första används bergskor vid pålning genom blockhaltig jord varvid bergspetsen tjänar som ett skydd för pålen. För det andra används bergsko vid stödpålning mot berg när det krävs gott fäste för pålspetsen i berget (fig. 1). Det är i huvudsak vid det senare användningsområdet som man måste ställa mycket höga krav på bergskons utförande.

Flera olika typer av bergskor kommer idag till användning. Figur 2 visar en bergsko försedd med $\varnothing$ 60 mm bergdubb. Med bergdubb menas den del av bergskon som är avsedd att tränga in i berget och därför i allmänhet består av en härdad dubb. Bergdubbarna utformas något olika av olika tillverkare, men förses vanligen med en skålformad nedre ändyta med eller utan kantfas (fig. 3). Dubben kan antingen vara fastsvetsad vid bergskon eller vara separat härdad och löst inträdd i rörformig hållare, där en stoppskruv håller dubben på plats. Det senare systemet med separat härdad dubb är numera vanligast (fig. 2).

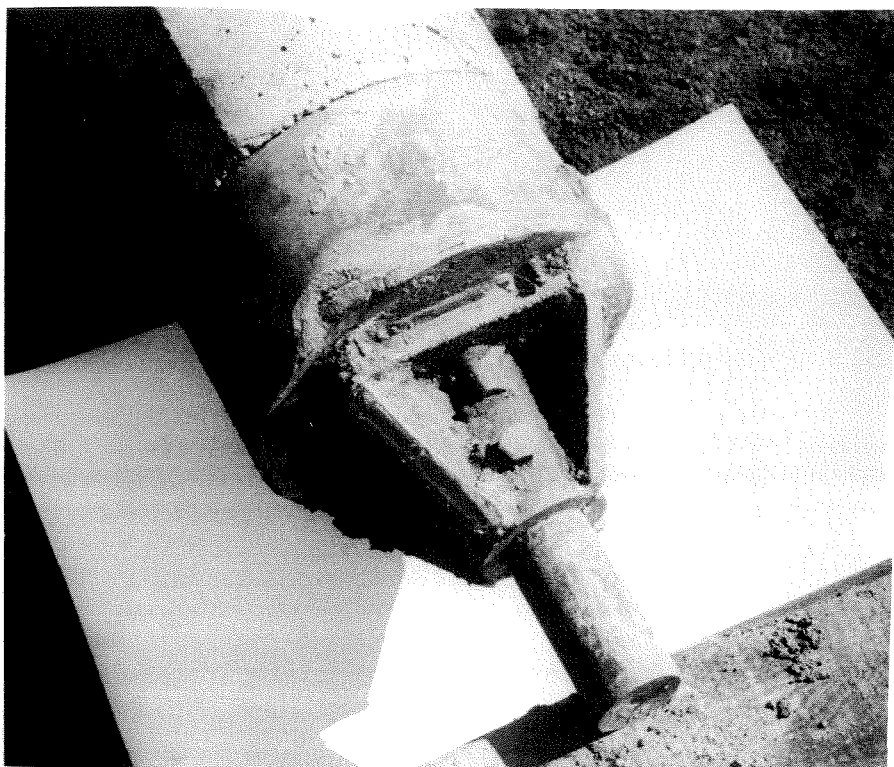


Fig. 2 BETONGPÅLE MED FASTGJUTEN BERGSKO
Precast pile with rock shoe

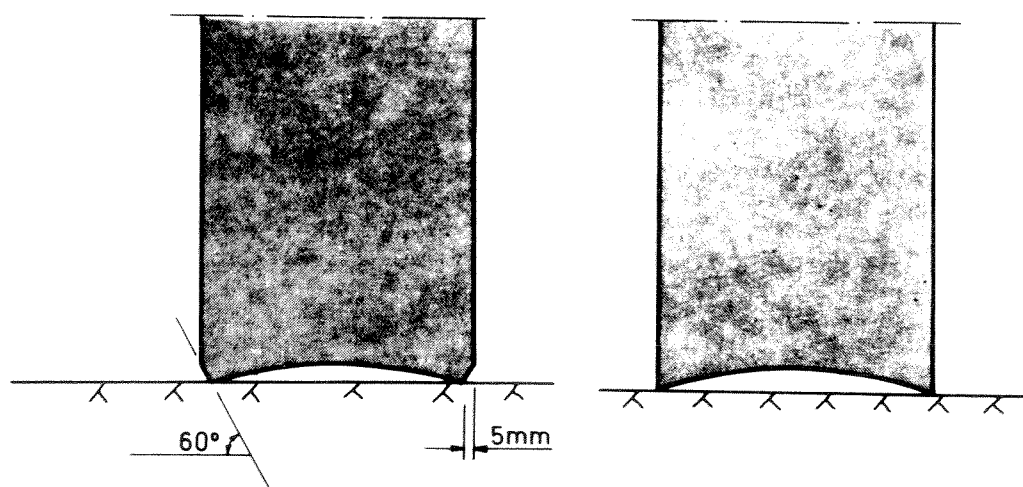


Fig. 3 BERGDUBB MED KANTFAS (t.v.) OCH UTAN KANTFAS (t.h.)
Rock point with and without edge chamfer

II TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR

Redan år 1924 provade K. E. Pettersson (1) olika pålspetsar i samband med pålning för Kämpebron i Göteborg. Belastningsförsöken omfattade 5 olika pålspetsar av koniska plåtskal för träpålar, påldiametern vid skon var ca 20 cm. Den maximalt uppnådda belastningen på pålspetsarna varierade mellan 30 och 48 Mp.

I samband med projekteringsarbetet för magasin 178 och 179 i Göteborgs hamn (omkring år 1940) utfördes vissa försök av K. E. Pettersson (2), med syfte att finna en lämplig utformning av bergdubbar. Provdubbarna, av vilka två hade 100 mm diameter och två 75 mm, trycktes mot lössprängda större bergskärvor. De smalare dubbarna började spricka vid 88 Mp resp. 46,5 Mp, medan $\varnothing$ 100 mm dubbarna erhöll sprickor när belastningen var 60 Mp resp. 87 Mp. Provdubbarna var tillverkade av stål St 44 och anliggningsytan mot berget var konkavt skålformad. Pettersson redogör även för "Slagningsprov å sluttande berg för balkpålar med ståldubbar". Av undersökningen framgår att den skålformade dubben spricker lättare, om den förses med enkelsidig egg (utan kantfas, jmf fig. 3) än om eggen är dubbelsidig (med kantfas). Men å andra sidan får dubben med kantfas svårare att fästa i en lutande bergyta.

I en artikel 1949 om "Hållfasthet hos betongpålspetsar", N Engström (3) behandlas ej bergdubbens hållfasthet, men Engström påpekar vikten av tillräcklig lastspridning innan lasten överförs från bergdubben till betongpålen, dvs man måste ha en ordentlig plåt mellan dubb och betong.

Olika metoder har provats för att lättare erhålla ett fullgott fäste för bergdubben i en lutande bergyta. A Bergfelt beskriver (4) bl a försök att spränga en "pall" för pålspetsen. "Försöken syntes till en början ganska lovande, men svårigheter uppstod vid laddningen". Försök med fastinjektering av bergskon gav inte önskat resultat.

Vid pålning för en ny bro över Glomma i Fredriksstad, R Vold (5), användes $\varnothing$ 100 mm bergdubbar med kraftig kantfas. Dubbarna tillverkades av axelstål

och härdades till 400 - 600 HB (jmf bilaga 3). Av 98 stålpålar gled 10 st något innan de fick tillfredsställande fäste. Pålarna lutade 4:1 och berget (granit) överlagrades av 20 m lös till halvfast lera, som på vissa ställen var i direkt kontakt med berget.

L Bjerrum (6) har i NGI publ. nr 32 beskrivit bl a nedslagning av stålpålar till berg och utformningen av den s k Oslospetsen. Av beskrivningen framgår att "Oslospetsen", som har relativt stor kantfasning, tålt slagning mot hårt berg och därvid mejslats in ett stycke i bergytan. Dubbarna tillverkades av $\varnothing$ 100 mm rundstål, som härdades så att de 10 nedersta centimetrarna erhöll en hårdhet inom intervallet 400 - 600 HB.

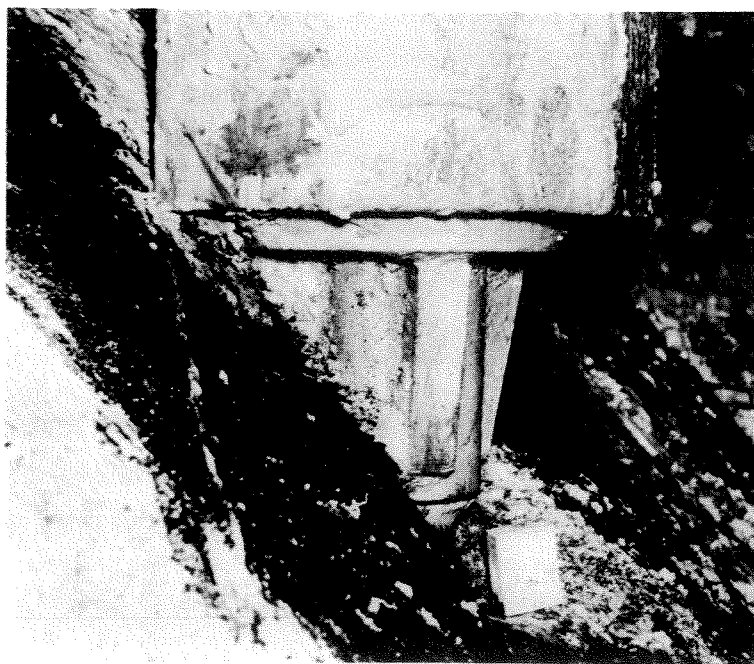
För att bestämma brottlasten hos berg när en pålspets pressades mot en bergyta, utfördes 1958 i Göteborg, A Bergfelt (7), en serie försök med bergdubbar. Dubbarna var 60 mm i diameter med skålformad anliggningsyta mot berget och härdades till 590 HB. Tre pålspetsar belastades till 150 ton utan att några kvarstående skador kunde iakttagas på bergdubbarna.

I pålkommissionens meddelande nr 1, Bror Fellenius (8), beskrivs slagning av sex pålar försedda med bergdubbar. Pålarna slogs på en plats med litet djup till berget, så att dubbarna kunde grävas fram och granskas efter slagningen. Bergdubbarna, som var 60 mm i diameter och försedda med kantfas, hade tillverkats av stål Hellefors 134 HF 2. Uppgift om stålets hårdhet saknas. Pålarna erhöll efter kontakt med bergytan 1 000 till 3 500 slag med 3 tons fallhejare och 0,25 till 0,5 m fallhöjd. Fem av de sex bergdubbarna skadades ej av slagningen, medan en kröktes något.

Vid en slagning av fem pålar med bergspets genom 18 - 20 m lös lera mot släntberg, som lutade 1:1, erhölls följande resultat, Bror Fellenius (9). En påle fick ej fäste i bergytan och i två pålar erhölls brott efter 2594 resp. 2920 slag. De två återstående pålarna förblev intakta efter ca 3000 slag. Bergdubbarna ($\varnothing$ 60 mm) var tillverkade av Hellefors stål 134 HF4 och härdade till en egg-hårdhet av 58 HRC.

För att bedöma bergdubbars förmåga att tåla slagningsarbetet är det mycket värdefullt att dra upp slagna pålar och undersöka bergdubbarna efter slagningen. Vid en provpålning mot släntberg intill skansen Lejonet i Göteborg, W Pejrud m fl (10), slogs 16 pålar försedda med bergspetsar. Efter slagningen drogs samtliga pålar upp och inspekterades. Bergspetsarna var försedda med s k lösa bergdubbar ($\varnothing$ 60 mm) med skålad anliggningsyta utan kantfas. Dubbarna var tillverkade av Hellefors stål 134 HF4 och härdade till en ythårdhet av ca 58 HRC. Efter bergkontakt erhöll pålarna 1500 slag med 15 cm fallhöjd (3 tons hejare) och 50 slag med 30, 40 resp. 50 cm fallhöjd. Efter uppdragningen av pålarna utfördes en okulär besiktning av bergdubbarna varvid framkom att de flesta dubbarna hade stukats något.

I Pålkommissionens meddelande nr 10 beskriver H Granholm (11) ett antal försök med bergdubbar slagna mot berg. Två pålar försedda med härdade bergdubbar utan kantfas (hårdhet 550 HB, diameter 60 mm) stoppslogs på konventionellt sätt mot en lutande bergyta av s k ådergnejs. Provpålarna efterslogs med 300 till 350 slag med 0,4 m fallhöjd. När pålspetsarna grävdes fram (jmf foto nedan), visade det sig att båda spetsarna erhållit gott fäste i bergytan, trots att bergytan i ena fallet lutade 50 till 60°. Bergdubbarna var något stukade i eggen. H Granholm redogör även för försök med bergdubbar av olika diameter:



(foto ur Pålkommissionens meddelande nr 10)

"Slagningen skedde med en 3 tons hejare på en ca 4 m lång betongpåle av typ Herkules 420. Tre olika utföranden hos pålspetsen provades. I första försöket användes en spets som successivt hade avtrappats. Ytterst var spetsens diameter 20 mm på en sträcka av 20 mm. Därefter ökades diametern språngvis till 40 mm likaledes på en sträcka av 20 mm. Övriga delar av spetsen hade diametern 60 mm. Spetsen var 15 cm lång. Spetsen bestod av härdat material med Brinelltal 560 - 595 i ytan och 540 i mitten. Provslagning av pålen ägde rum på berg i dagen. Berget bestod av grönsten, således en jämförelsevis finkornig, hård bergart. Bergets lutning uppskattades till 45° . Hejarens fallhöjd uppskattades till ca 25 cm. Resultatet av försöket blev att den yttersta 20 mm grova dubben bröts av i första slaget.

I försök nummer två provades en 20 cm lång dubb med diametern 60 mm. Den nådde 12 cm utanför pålskon och betecknades som varande 5 cm för lång mot normalt. Resultatet var att dubben bröts av vid tredje slaget. Temperaturen uppgick till -6°C . Den låga temperaturen kan ha inverkat på materialets egenskaper, så att det hade blivit exceptionellt sprött. Möjligen kan även dubbens onormalt stora längd ha inverkat ofördelaktigt.

I tredje försöket kom dubben från försök nummer ett ånyo till användning, ehuru yttersta spetsen med 20 mm diameter nu var bortslagen. Yttersta spetsen hade således nu diametern 40 mm på en längd av 20 mm, varefter dubbens diameter ökades språngvis till 60 mm. Pålen slogs i serier om vardera 10 slag med fallhöjden ca 20 cm. Redan efter några slag erhöles ett fäste i berget som sedan bibehölls under de 10 första slagserierna. Därefter ökades fallhöjden till ca 30 cm. Efter ca 20 slag med denna fallhöjd gled spetsen ur sitt läge. Innan försöket igångsattes hade spetsen förvärmats i inomhustemperatur.

I fjärde försöket studerades en ordinär 15 cm lång dubb med diametern 60 mm. Dubben stack 7 cm utanför pålskon. Pålen slogs på berg med lutning ca 45° . Med några försiktiga slag erhöles ett fäste i berget. Därefter slogs 5 stycken slagserier om vardera 100 slag med fallhöjd ca 25 cm. Under hela slagningen kunde man konstatera hur dubben trängde allt djupare ner i berget. Efter de 500 slagen uppmättes inträngningsdjupet till 35 mm. Fallhöjden ökades därefter till 1 m.

En så hög fallhöjd som 1 m måste anses vara oproportionerligt stor. Den av slaget primärt inducerade stötvågen i pålen ger upphov till primära tryckspänningar av 440 kg/cm^2 , om stötförlusten i slagdynan försummas. Den sammanlagda effekten av den primära vågen och den från berget reflekterade sekundära tryckvågen leder till mycket stora påkänningar. Resultatet av denna hårda slagning blev också följande. Efter 5 slag med denna fallhöjd sprack berget, medan spetsen förhöll sig helt oskadad".

I ett examensarbete (12) vid institutionen för Byggnadsteknik, KTH 1962-63 redogör U Söderqvist och B Varnbo för en undersökning av bergskor för pålar. Examensarbetet omfattar bl a jämförande fullskaleförsök med olika utformade bergskor. Försöken omfattade 9 pålar av massiva stålämnen $12,5 \times 12,5 \text{ cm}^2$ med fastsvetsade $\varnothing 80 \text{ mm}$ bergdubbar. Tre dubbar av s k "Oslo typ", med skålad ändyta, hade 45° kantfas, medan tre var utan kantfas. De tre återstående dubbarna var utformade med 8 radiellt riktade egg (s k kronspetsar). För stålqualitén anges endast 0,35 % kolhalt i "kronspetsarna" och 0,50 - 0,55 % kolhalt i "Oslospetsarna".

Beträffande dubbarnas förmåga att tränga in i berget märktes ingen markant skillnad mellan de tre olika typerna av bergdubbar. Däremot erhöill dubbarna utan kantfas lättare fäste i bergytan men skadades å andra sidan lättare än de övriga dubbarna.

Vid provpålning för nya Lidingöbron vintern 1963-64 (13) slogs två st 45 m långa stålrörspålar till bergstopp. Berget utgjordes av granitbreccia. Pålspetsarna var försedda med ca 40 cm långa ståldubbar $\varnothing 150 \text{ mm}$ av stål 1650 och utformade med "fasad skålformad egg". Med utgångspunkt från utförda stötvågs mätningar uppskattades maximal spetskraft vid stoppslagningen till 260 resp. 390 Mp. När pålarna senare provbelastades, tydde den uppmätta elastiska hoptryckningen på att nästan hela den påförda lasten fördes ner till pålens spets. Detta antagande ger en statisk spetskraft av 260 Mp för båda provpålarna. Vid uppdragningen av provpålarna konstaterades inga skador på bergdubbarna, däremot upptäcktes bucklor på de koniska mantelplåtarna närmast bergdubbarna.

III PÅLKOMMISSIONENS UNDERSÖKNING

IVA:s Pålkommission har tidigare undersökt bergets bärförmåga vid punktbelastning (14). Undersökningen genomfördes i huvudsak som modellförsök. För att erhålla en uppfattning om modellskalans inverkan på bergets uppmätta bärförmåga utfördes också en serie fullskaleförsök. Vid fullskaleförsöken användes bl a några olika typer av förekommande bergdubbar.

Resultatet blev något oväntat att några bergdubbar sprack vid en mycket låg belastning (60–80 Mp) och man måste givetvis fråga sig om detta var en tillfällighet eller inte?

I samband med pålningsarbeten för en bro över en gång- och cykelväg vid Järva i Solna översände Statens Vägverk till Pålkommissionen, för kännedom, resultatet från en hårdhetsprovning av 2 bergdubbar (juli -68). Av resultatet framgår att endast dubbarnas egg varit härdade och då betydligt hårdare än vad som normalt anses vara lämpligt.

Några månader senare påpekades från bl a Stockholms stads gatukontor, som nyss avslutat en undersökning av en viss typ av bergdubbar, att man borde undersöka bergdubbens utformning och hållfasthet närmare. Man hade nämligen även där funnit att de undersökta dubbarna spruckit vid en oväntat låg belastning. Även från annat håll, bl a Stadsbyggnadskontoret i Göteborg och Nya Asfalt AB i Örebro, fick Pålkommissionen ta del av vissa undersökningar rörande bergdubbar. Pålkommissionen beslöt då att studera frågan om bergdubbens hållfasthet närmare.

IV MÅLSÄTTNING

Målsättningen för undersökningen kan enklast sammanfattas i följande 5 punkter.

- 1 Att undersöka hur belastningsmetoden påverkar bergdubbens förmåga att motstå sprickbildning, stukning samt krökning
- 2 Att studera inverkan av stålqualitén
- 3 Att studera inverkan av härdningsförfarandet
- 4 Att studera inverkan av dubbens form
- 5 Att studera skillnaden i hållfasthet mellan slagen och ej slagen dubb.

V BESKRIVNING AV FÖRSÖKSMETODEN

V:1 Allmänt

Belastningsförsöken utfördes i en 600 tons tryckpress vid Institutionen för Byggnadsteknik KTH. Bergdubbarna trycktes mot granitblock (300 x 300 x 300 mm) som gjutits in i stålrör för att de inte skulle spricka (fig. 4). Granitblocken levererades med ytorna krysshamrade grad III från det s k Rixöbrottet i Bohuslän. Granitens tryckhållfasthet har vid tidigare försök uppmätts till ca $2\,300\text{ kp/cm}^2$.

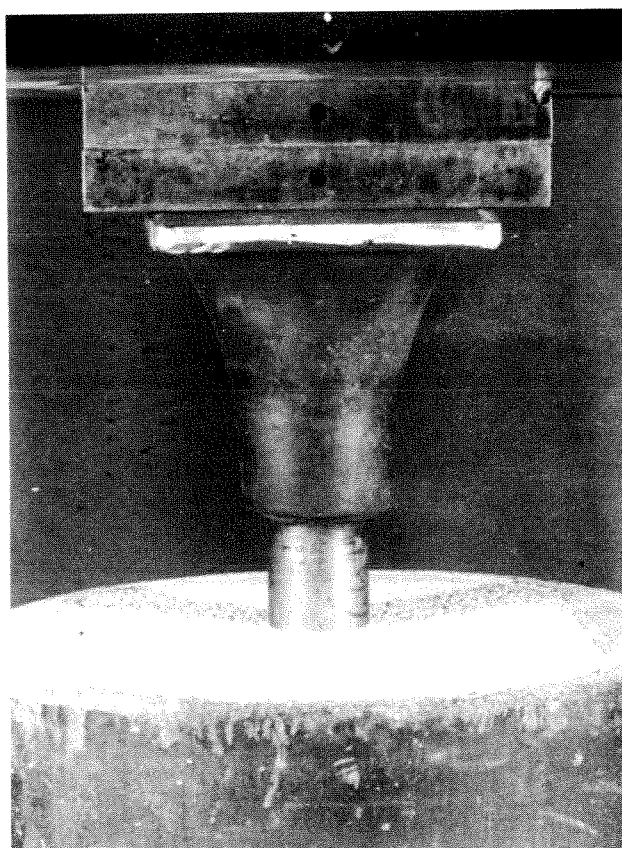


Fig. 4 STATISKT BELASTNINGSFÖRSÖK MED BERGDUBB I
600 Mp TRYCKPRESS

Static loading test with a rock point in a 600 Mp
(1320 kips) hydraulic press

Eftersom bergdubbens anliggningsyta är skålformad (se fig. 3), kommer kraften i början av ett belastningsförsök att överföras längs dubbens periferi, vilket ger upphov till mycket stora kontakttryck. En tidigare utförd undersökning (14) har visat att graniten mycket snabbt utmattas vid upprepade växlingar mellan höga och låga kontakttryck. Detta medför att kontaktytan mellan bergdubb och granit ökar, när dubbens egg tränger in i granitblocket. Bergets utmattningstendens och bergdubbens skålformade ändyta medför att belastningsmetoden är av mycket stor betydelse när det gäller en bedömning av bergdubbens hållfasthet utifrån statiska belastningsförsök.

Under de utförda försöken uppmättes med jämna mellanrum belastningsytans storlek och därvid antecknades eventuella sprickor eller deformationer i dubbarna. I allmänhet hördes kraftiga knäppar, när dubbarna började att spricka och spricklasten kunde därför bestämmas med relativt god noggrannhet.

V:2 Olika belastningsprogram

Vid försöken användes 3 olika belastningsprogram (se fig. 5). I belastnings-schema A ökades kraften i stort sett linjärt med tiden (ca 50 Mp/min) och i fall B stegvis med avlastning till 40 Mp efter vart fjärde laststeg. Belastnings-schema C innebar stegvis lastökning med 10 Mp och med avlastning till 20 Mp efter varje pålastning, samt att dubbarna togs ur tryckpressen för en mer ingående okulär granskning efter 100, 150, 200 Mp osv.

Vid försöken placerades dubbarna på två olika sätt mot underlaget (se fig. 6). Beteckningen R avser det fall då endast dubbens periferi var i kontakt med underlaget, när belastningsförsöket började, medan H motsvarar det fall då dubbens hela ändyta var i kontakt med underlaget i början av försöket. Underlaget utgjordes i allmänhet av block av rixögranit och dessa försök betecknas försöksserie G. För jämförelse trycktes även några bergdubbar mot en 50 mm tjock stålplatta (försöksserie S).

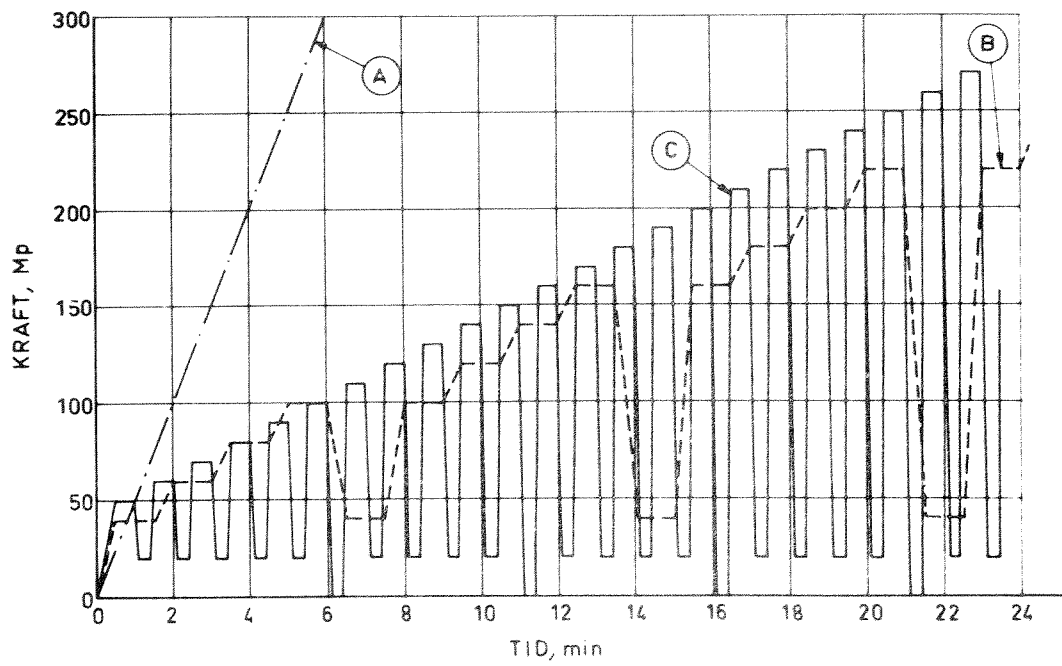


Fig. 5 OLIKA BELASTNINGSPROGRAM
Different loading sequences

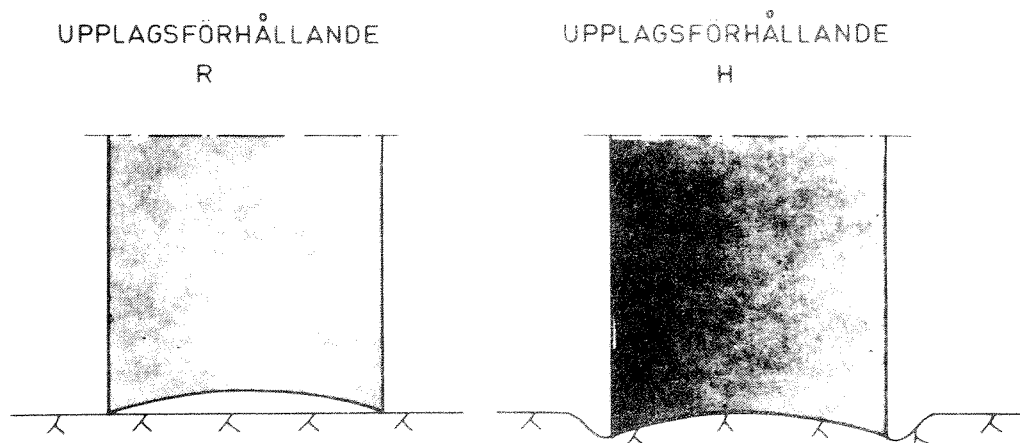
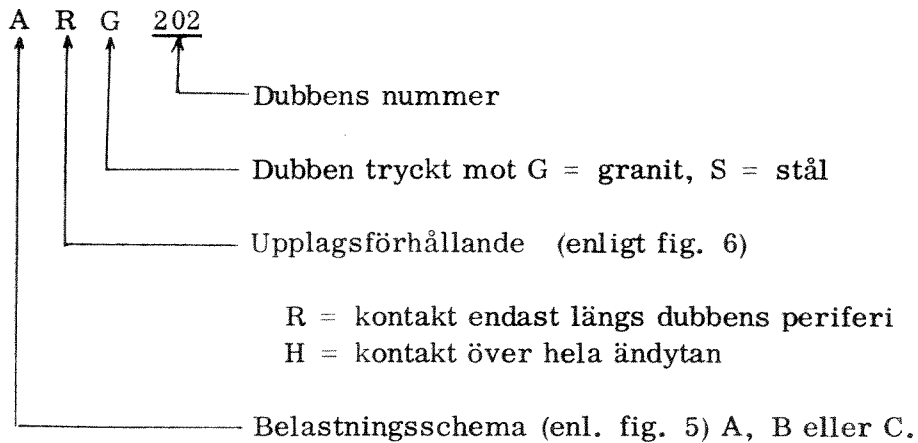


Fig. 6 OLIKA BELASTNINGSFALL
Different loading cases

V:3 Identifieringskod för olika försök

De i undersökningen ingående dubbarna har försetts med tresiffriga identifieringsnummer. De olika belastningsförsöken har därför betecknats med tre bokstäver och ett tresiffrigt tal enligt följande:



Exempelvis betyder försök ARG 202 att dubb 202 har pressats med konstant lastökning vinkelrätt mot en granityta och dubben har från början endast legat an längs eggen.

VI PRESENTATION AV DUBBMATERIALET

VI:1 Allmänt

Statiska belastningsförsök har utförts på sammanlagt 43 bergdubbar. Materialet har ställts till förfogande av bl a Stabilator AB, Hellefors, Wirsbo Bruk AB, SPS-verken, Dixson & Sjöstedt samt Materialprovningslaboratoriet, Stockholms hamn. Bergdubbarna har varit olika i form, utförande, stålqualité och hårdhet.

Vad beträffar bergdubbens form har i huvudsak tre något olika typer av bergdubbar använts, som framgår av figurerna 7 - 9. Figur 7 visar den s k lösa bergdubben i sin hållare. Dubbarna av denna typ var ca 60 mm i diameter, medan längden varierade något (150 - 250 mm). I regel stack den härdade bergdubben ut 60 till 70 mm ur den rörformade hållaren. En stoppskruv bottnade i ett ursvarvat spår i bergdubben och höll den på plats. Den utstickande änden av bergdubben var skålformad med en radie av ca 100 mm. Den andra typen av bergsko (fig. 8) levererades av Wirsbo Bruk AB. Den härdade dubben hade presats in i en hejarsmidd hållare och 60 till 70 mm av dubben var synlig. Dubben var 60 mm i diameter och försedd med sfärisk ($r = 100$ mm) skålformad ändyta. Figur 9 visar den tredje typen av bergsko som användes vid försöken. Dubben var här fastsvetsad vid en stålplatta med avstyvande vingar. Dubbarna var 80 till 100 mm i diameter och utformade med en skålformad ändyta med 60° fasning av eggen (jämför även med figur 3).

VI:2 Riktanalyser och härdning

Riktanalyser

Flertalet dubbar som ingick i undersökningen var tillverkade av 2090-stål med s k förstärkt analys. Med förstärkt analys menas i detta sammanhang att kromhalten varit 0,4 - 0,8 % i stället för 0,3 % som riktanalysen anger för 2090-stål. Men även andra stålqualitéer har använts och riktanalyserna för dessa framgår av tabell I. Stål SIS 2512 är ett s k sätthärdningsstål och användes vid dessa försök enbart för att studera effekten av sätthärdning.

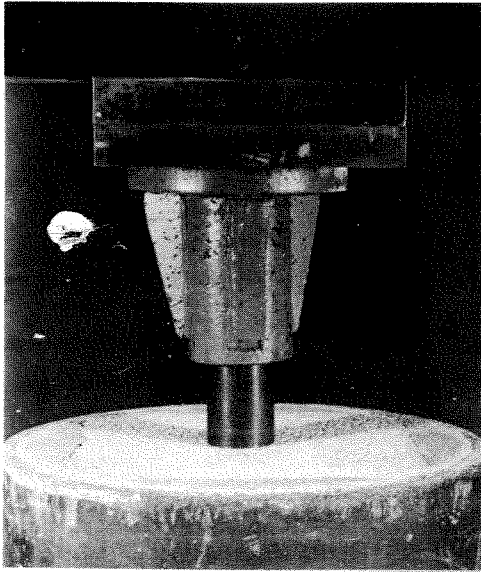


Fig. 7 BERGDUBB I SIN HÅLLARE
A rock point with holder

Fig. 8 BERGDUBB MED HEJARSMIDD HÅLLARE,
TILLVERKAD AV WIRSBO BRUK

A rock point with a drop forged holder,
manufactured by Wirsbo Bruk

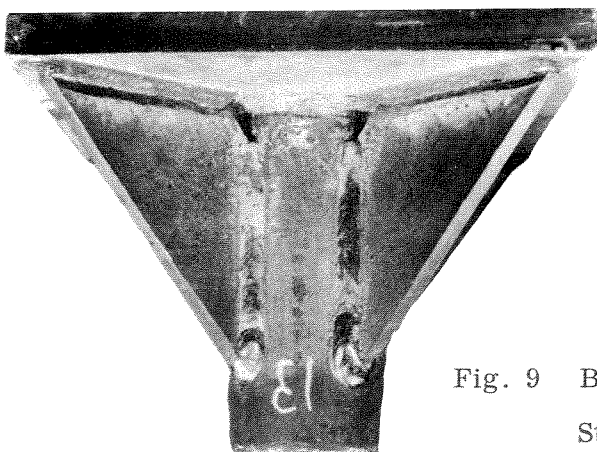


Fig. 9 BERGSKO MED FASTSVETSAD DUBB
Steel dowel welded on the rock shoe

Tabell I

Riktanalyser

Stål SIS	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Ma %
1650	0,45	0,25	0,6	< 0,04	< 0,04			
2090	0,55	1,7	0,8	< 0,035	< 0,030	< 0,3		
2512	0,20	0,25	0,8	< 0,035	< 0,030	0,8	1,5	
2550	0,55					1,0	3,0	0,3

Härdning

När härdningsresultatet kontrollerades uppmättes bergdubbens hårdhet dels längs en generatris, sedan den cylindriska ytan slipats ner 0,5 mm, och dels i ett snitt vinkelrätt mot dubbens längdaxel, ca 75 mm från den skålade ändytan. Resultaten av hårdhetsmätningarna har antingen angivits i Brinellhårdhet, Vickershårdhet eller Rockwellhårdhet. I denna rapport har samtliga värden omvandlats till Rockwellhårdhet (HRC) med hjälp av bilaga 3:1 för att underlätta en jämförelse mellan olika resultat.

VI:3 Indelning av dubbmaterialet

De bergdubbar som undersökningen omfattat kan delas in i sex grupper (se bilaga 1:2).

Dubb 101 - 116

Flertalet dubbar levererades från Stockholms hamns materialprovningslaboratorium och utgjorde delvis material som underkänts vid en rutinmässig kontroll av bergdubbar. Dubbarna 101, 102 och 111 t o m 114 tillhandahölls däremot av Stabilator AB.

Dubb 201 - 213

Bergskorna tillverkades av Wirsbo Bruk AB och försågs med bergdubbar, som tillverkades och härdades i samråd med pålkommissionen. Detta gjorde det möjligt att prova olika stålqualitéer, hårdhet och härdningsmetoder. Bl a undersöktes inverkan av sätthärdning (dubb 203) och effekten av pålagd hårdsvets (dubb 209).

Dubb 301 - 303

Dessa dubbar tillverkades av AB SPS-verken i stålqualité Hellefors 134 HF4 (motsvarar SIS 2090 med förstärkt analys) och härdades av Hellefors eget laboratorium till ca 58 HRC egghårdhet.

Dubb 401 - 406, 418 och 419

Pålkommissionens utredningsman plockade slumpvis ut dessa dubbar ur den löpande produktionen vid AB SPS-verken i Halmstad.

Dubb 502, 506, 507, 527 - 529

Dubbarna ställdes till förfogande av firma Dickson & Sjöstedt i Göteborg och var enligt uppgift tillverkade av stål Imatra MS 517 och härdade till hårdheten 56 - 58 HRC. Tre av dubbarna (502, 506, 507) hade ingått i en serie om 10 st slumpvis utvalda dubbar för slagningsprov. Dessa dubbar hade slagits mot släntberg i dagen och utsatts för minst 300 slag med 3 tons hejare och fallhöjden 40 cm. De övriga dubbarna (527, 528, 529) hade ej utsatts för slagning, utan uttagits slumpvis av Dickson & Sjöstedt ur ett parti bergdubbar.

Dubb 601 och 602

I samband med pålningsförsök tillvaratogs två sönderslagna bergdubbar och översändes till Pålkommissionen för analys och hårdhetsbestämning.

VII RESULTAT OCH DISKUSSION

VII:1 Allmänt

Försöksresultaten redovisas i bilaga 1:3, som innehåller de viktigaste uppgifterna för en jämförelse mellan resultaten från olika belastningsförsök. Antalet dubbar som provades var relativt litet med hänsyn till antalet ingående parametrar, vilket gör det svårt att dra några bestämda slutsatser ur resultaten. Emellertid tycks dubbens hårdhet vara avgörande för hållfastheten.

VII:2 Jämförelse mellan olika belastningsmetoder

När en skålformad bergdubb, under konstant lastökning, pressas mot en granityta, blir kontakttrycket längs eggen avsevärt högre än medelpåkänningen ($P/\pi \cdot r^2$), vilket borde leda till lokalt brott i bergytan. På grund av bergets höga bärförmåga kan emellertid dragspänningarna i dubbens ändyta orsaka tangentiella sprickor i ståldubben innan brott uppstår i det underliggande berget (fig. 10). Detta leder till att en dubb med mycket hög egghårdhet oftast spricker vid en lägre last än vad en liknande dubb med lägre egghårdhet gör (jmf försök ARG 206 och ARG 210 i bilaga 1:3). Orsaken är att den mjukare dubben stukas något innan den spricker.

Det blev därför nödvändigt att utforma ett försöksprogram som var bättre anpassat till verkliga pålningsförhållanden, ett försöksprogram där bergets låga utmattningshållfasthet utnyttjades. Utmattningsförsök på granit (14) har nämligen visat att bergytan utmattas mycket snabbt vid upprepade på- och avlastningar och vilket kan förklara varför en bergdubb relativt lätt tränger in i berget vid påslagning. För att ta hänsyn till denna för dubben gynnsamma utmattning av bergmaterialet genomfördes försöken med tre olika belastningsprogram, som beskrivits i kap. V:2.

De sprickor som slog upp i dubbarnas ändytor under belastningsförsöken var antingen tangentiellt eller radiellt orienterade. Tangentiella sprickor (fig. 10)

erhölls när dubbarna ansattes vinkelrätt mot en plan granityta, medan radiella sprickor (fig. 11) erhölls när granitytan var "skålformad". Spricklasten var högre i det senare fallet. När en 50 mm tjock ej härdad stålplatta användes som underlag erhölls inga sprickor i bergdubbarna. Dessa försök avbröts i regel vid 300 à 400 Mp last.

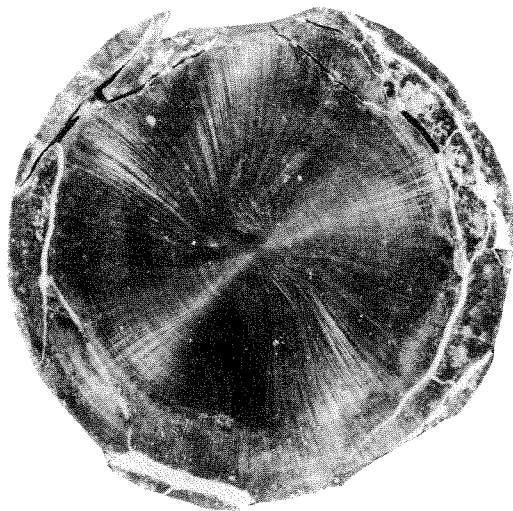


Fig. 10 TYPISK SPRICKBILD I BERGDUBB, BELASTAD
ENDAST LÄNGS EGGEN (ARG 205)

Typical fracture of a rock point, only loaded along
the edge

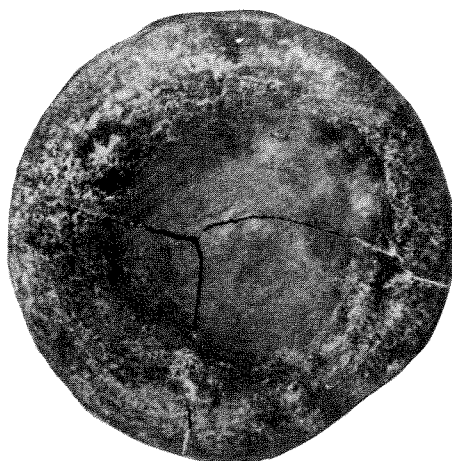


Fig. 11 TYPISK SPRICKBILD I BERGDUBB, BELASTAD
ÖVER HELA TVÄRSNITTSYTAN (AHG 107)

Typical fracture of a rock point, loaded over the
whole cross area

VII:3 Jämförelse mellan bergdubbar av olika stålqualitéer

De flesta provade bergdubbarna har varit tillverkade av s k fjäderstål. Stålqualitéerna överensstämmer i stort sett med SIS 2090 men med högre kromhalt i många fall. Även stålqualitéerna 1650, 2512 och 2550 har använts. Beträffande SIS 1650 har det inte varit möjligt att göra någon direkt jämförelse med de andra stålqualitéerna, eftersom 1650-stålet endast användes i s k svetsade bergskor med fasad egg. Fasningen av eggen ökar dubbens styrka avsevärt, varför stålqualiténs inverkan inte kan bedömas. En jämförelse mellan övriga stålqualitéer som ingått i undersökningen visar ingen större skillnad i dubbarnas förmåga att motstå sprickbildning och stukning. Möjligen förefaller 2090-stål med s k förstärkt analys (0,4 – 0,8 % Cr) att ha givit något bättre resultat än övriga stålqualitéer.

VII:4 Hårdhetsmätningar

För att studera dubbarnas hårdhet har ett antal dubbar hårdhetsprovats längs en generatris. Resultaten redovisas i bilaga 2, där den uppmätta hårdheten har avsatts som funktion av avståndet från den skålade ändytan. Närmast eggen var dubbarna i allmänhet hårdast och längre från eggen avtog hårdheten mer eller mindre. Hårdheten blir alltid något högre närmast eggen vilket beror på snabbare avkylning där i förhållande till dubben i övrigt. Ju större skillnaden är, desto sämre är i regel härdningsresultatet. Särskilt stor var skillnaden mellan egghårdhet och mantelhårdhet hos de grövre dubbarna (111, 112, 113 och 114).

Försöksresultaten har också visat att härddjupet har varit av stor betydelse för dubbens hållfasthet. I bilaga 2 visas härddjupet i 6 dubbar. Hårdheten mättes i ett snitt vinkelrätt mot dubbens längdaxel, 75 mm från den skålade ändytan. Mätningarna visar att hårdheten hos vissa dubbar var betydligt lägre i dubbens mitt än på mantelytan, medan andra dubbar (301 och 528) varit nästan genomhårdade.

Eftersom dubbarna 105, 301, 404 och 418 (bilaga 2) var lika stora och tillverkade av samma stålqualité, måste skillnaderna i härddjup till stor del bero på härdningsförfarandet. Figur 12 visar en jämförelse mellan dubb 301 och dubb 105. Stålqualitén (Hellefors 134 HF4) har i icke härdat tillstånd en hårdhet av max 22 HRC. Av figur 12 framgår att hårdheten i centrum av dubb 105 närmar sig värdet för glödgat material (dubben sprack vid 98 Mp belastning).

Dubbarna 301, 302 och 303 har på begäran av Pålkommissionen härdats vid Hellefors eget laboratorium. Provningsresultatet blev att dessa tre dubbar klarade samtliga belastningsprogram utan att skadas.

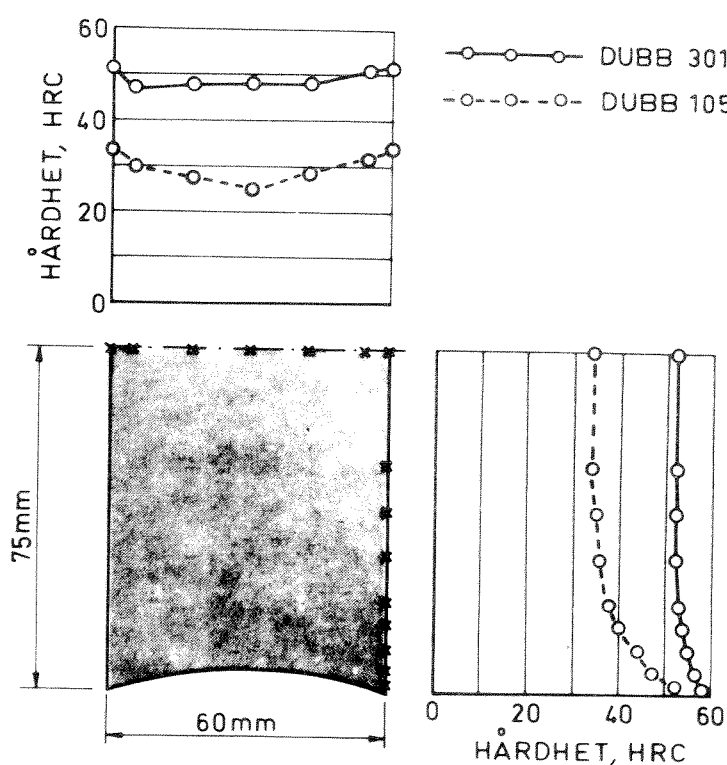


Fig. 12 UPPMÄTT HÅRDHET HOS TVÅ BERGDUBBAR AV SAMMA STÅLKVALITÉ OCH FORM

Measured hardness in two rock points of the same steel quality and shape

I undersökningen ingick även ett försök (ARG 203) med en sätthärdad dubb av stålqualitén 2512. Dubben började att spricka redan vid 60 Mp last (fig. 13), vilket antyder att sätthärdning troligen inte är lämpligt för bergdubbar. Ett försök (CRG 209) med pålagd svets H11 (fig. 14), visade att eggen var för mjuk, eftersom den började att stukas vid 100 Mp last. Möjligen kunde en hårdare svets givit ett bättre resultat.

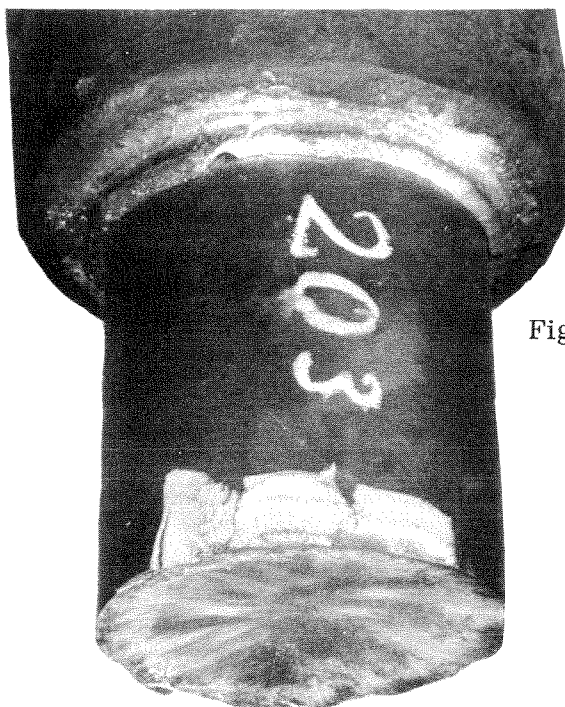


Fig. 13 SPRICKBILDNING I EN SÄTTHÄRDAD DUBB (ARG 203)

Fracture in a case-hardened rock point

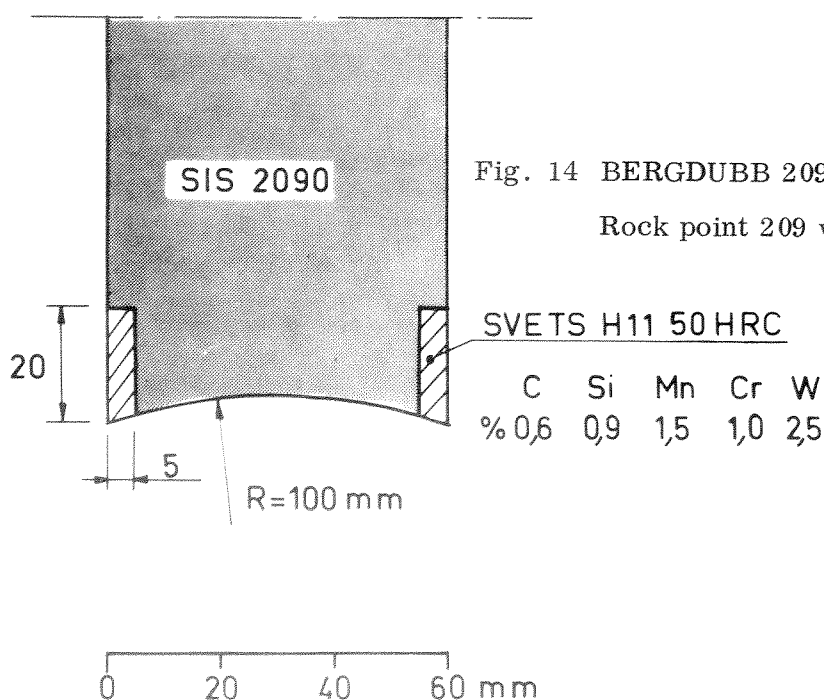


Fig. 14 BERGDUBB 209 MED PÅLAGD SVETS

Rock point 209 with surface weld

VII:5 Inverkan av dubbens geometriska utformning

Försöksresultaten visar tydligt att dubbens form har stor inverkan på hållfastheten vid de belastningsfall som undersökts. En fasning av eggen gör att dubben betydligt lättare tål att pressas vinkelrätt mot exempelvis en granityta utan att spricka. Emellertid försämrar dubbens förmåga att få fäste i sluttande berg, om eggen fasas. Det är därför oftast nödvändigt att tillverka dubben utan fasning. En annan faktor som påverkade eggens styrka var den sfäriska skålens radie. Ju större radie som urholkningen hade, desto starkare blev eggen (utan fasning).

Även dubbens ytjämnhet tycks ha stor betydelse för dubbens hållfasthet. Skarpa svarvspår blir lätt brottanvisningar i samband med härdning. Exempelvis erhöles brott i en dubb (BRG 102) redan vid 80 Mp last. Dubben var tillverkad av 134 HF4 stål och härdningen uppfyllde de krav som ställdes. Figur 15 visar de skarpa svarvspåren som fanns i den skålformade ändytan. En trolig förklaring till den låga brottlasten är att svarvspåren vid härdningen givit brottanvisningar i ändytan. Även dubb 101, som var godtagbart härdad, hade skarpa svarvspår i ändytan (fig. 16) och dubben sprack vid 140 Mp (BRG 101).

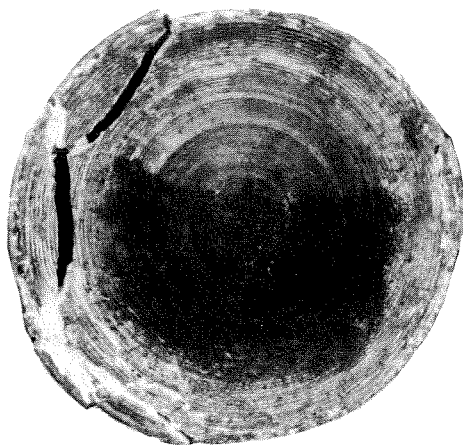


Fig. 15



och

16

BERGDUBB 102 OCH 101 MED SKARPA SVARVSPÅR
I DEN SKÅLADE ÄNDYTAN

Rock point 102 and 101 with sharp turning scratches
in the concave end

VII:6 Jämförelse mellan dynamiska och statiska belastningsförsök med bergdubbar

Under överinseende av Civilingenjör L Wahman, Göteborgs Stadsbyggnadskontor, utförde firma Dickson & Sjöstedt i Göteborg den 6 december 1967 provslagning med 10 st slumpvis utvalda bergdubbar. Tre av dessa dubbar översändes efter slagningen till pålkommissionen. Dubbarna (502, 506 och 507) var tillverkade av stål Imatra MS 517 och härdade till egghårdheten 54 HRC. Dubbarna slogs mot släntberg i dagen med 3 tons hejare. Fallhöjden var under 300 slag 15 cm och därefter 40 cm under 50 slag. Pålens tvärsnittsarea var ca 600 cm^2 . Den maximala dynamiska spetskraften kan uppskattas till 100 Mp vid 15 cm fallhöjd och 180 Mp vid 40 cm fallhöjd. På de provslagna dubbarna, som sändes till pålkommissionen kunde inga skador upptäckas vid en okulär besiktning. Dessa tre dubbar plus ytterligare tre dubbar (ej slagna) av samma fabrikat fick sedan ingå i de statiska belastningsförsöken. Av de sex dubbarna klarade samtliga utom en belastningsprogrammet CRG. En liten bit av eggen på dubb 507 (slagen dubb) spjälkades loss vid 100 Mp last (fig. 17) och då var 70 % av dubbens tvärsnittsarea i kontakt med granitytan. Därefter kunde lasten ökas till 200 Mp utan att några ytterligare skador uppstod. Kontaktytan var då 100 %.



Fig. 17 SPRICKA I DUBB 507 (CRG 507)

Crack in rock point 507

Resultaten tyder på att bergdubbens hållfasthet inte försämras märkbart av ett måttligt slagarbete. Vidare förefaller det som om belastningsprogram CRG är det som närmast kan jämföras med verkliga påslagningsförhållanden.

VII:7 Hårdhetsprovning och analys av två sönderslagna bergdubbar

I januari 1969 översändes två pålspetsar (fig. 18) till pålkommissionen genom Civilingenjör L Hellman Orrje & Co - Scandiakonsult. Pålarna (betong 25 x 25 cm) hade slagits mot berg i samband med ett pålförsök. De två pålarna erhöll 2100 resp. 3000 slag med 30 cm fallhöjd och 3 tons hejare. Enligt en stötvågsteoretisk beräkning skulle den maximala spetskraften under slagningen kunnat uppgå till ca 160 Mp.

Figur 19 visar de två bergdubbarna sedan pålspetsarna avlägsnats. Av bilderna framgår även uppmätt hårdhet längs en generatris, samt resultatet från en kemisk analys av dubbarna. Dubb nr 601 var kraftigt stukad och uppsprucken i ändytan. Hårdhetsprovningen visade att dubben praktiskt taget var ohärdad, så när som på ett tunt skikt närmast den sönderspruckna ändytan. Mätning direkt på den spruckna ändytan visade att ythårdheten var hela 62 HRC. Möjligen kan kallbearbetning av dubben vid slagningen ha orsakat en viss ökning av hårdheten. Dubb nr 602 förefaller däremot vara genomhärdad. Men eftersom den skålformade ändytan är sönderslagen, är det svårt att uppskatta dubbens ursprungliga egghårdhet. Det uppmätta värdet 61 HRC på den spetsformade delen tyder dock på en alltför hög egghårdhet.

En kemisk analys visar att dubbarna var tillverkade av ~ SIS 2090, dubb nr 601 med 0,30 % Cr och dubb nr 602 med 0,80 % Cr. Det är tänkbart att den höga kromhalten i dubb nr 602 i kombination med hög egghårdhet gjort dubben spröd, så att den spruckit vid slagningen. Emellertid belyser de två sönderslagna bergdubbarna betydelsen av en noggrant kontrollerad härdning.



Fig. 18 TVÅ BERGSKOR EFTER PÅSLAGNING
Two rock shoes after pile driving

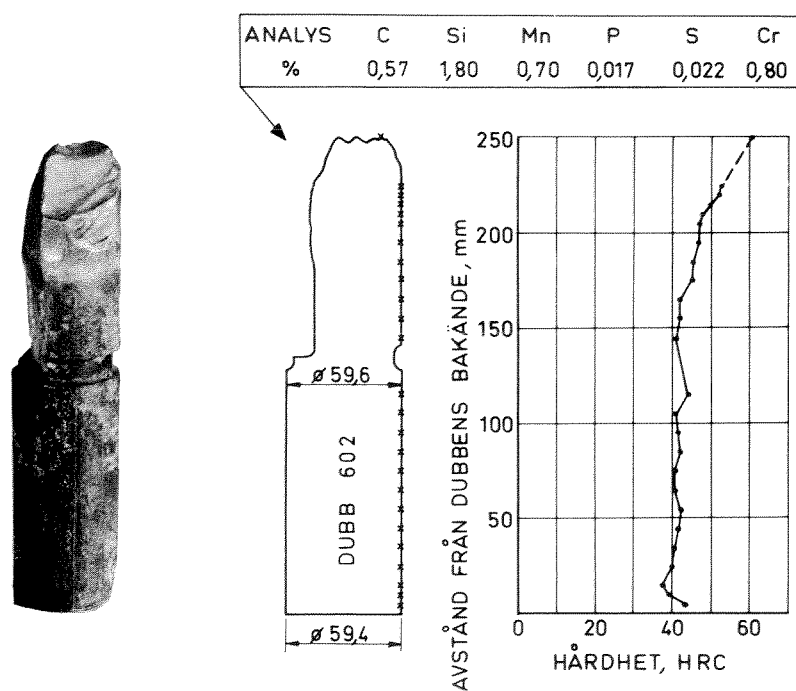
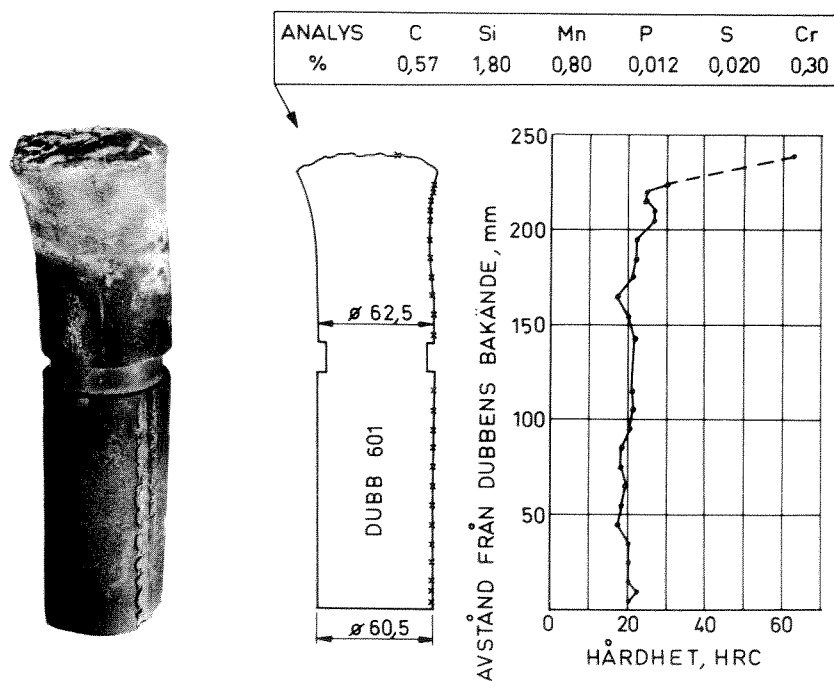


Fig. 19 UPPMÄTT HÅRDHET HOS TVÅ SÖNDESLAGNA
BERGDUBBAR

Measured hardness in two broken rock points

VIII SLUTSATS

Bergdubbens utformning har länge varit föremål för utvecklingsarbete. Detta har resulterat i en produkt som erfarenhetsmässigt förefaller att fylla sin speciella uppgift. På senare tid har emellertid sönderslagna bergdubbar påträffats i olika sammanhang, vilket givit upphov till denna undersökning.

Undersökningens resultatet har i stort bekräftat erfarenheten att de olika typer av bergdubbar som utvecklats uppfyller de krav man kan ställa. Emellertid bör några viktiga detaljer påpekas (fig. 20).

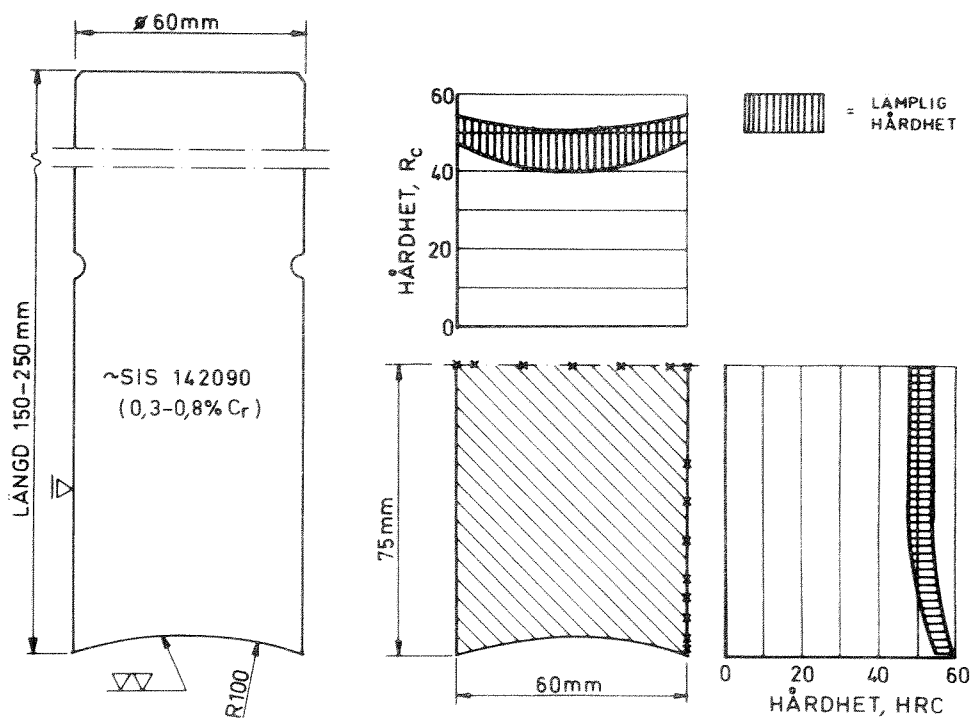


Fig. 20 FÖRSLAG TILL LÄMPLIGT UTFORMAD BERGDUBB

Suggestion for a suitable design of rock points

Bergdubbens diameter bör väljas med hänsyn till dubbens hållfasthet och det moment som uppstår i pålen p g a excentriskt lastangrepp vid stor dubbdiameter. En diameter av 60 mm förefaller vara en lämplig kompromiss, förutsatt att lämplig stålqualité väljs och att dubben härddas på rätt sätt.

Eggens utformning är av mycket stor betydelse, dels för dubbens hållfasthet och dels för möjligheten att få fäste i en lutande bergyta. Förslagsvis bör radien i den sfäriska urholkningen vara 100 mm. Dubben bör vidare utföras med god ytjämnhet så att brottanvisningar undviks. Som lämplig stålqualité för en $\varnothing$ 60 mm dubb kan nämnas SIS 2090, men med högre kromhalt (0,4 – 0,8 % Cr).

Det är viktigt att bergdubben härddas under noggrann kontroll och på det sätt som krävs för respektive stålqualité. Egghårdheten bör vara 54 – 58 HRC och härddjupet så stort som möjligt. I ett snitt 75 mm från den skålade ändytan hos en $\varnothing$ 60 mm dubb bör hårdheten vid mantelytan ej understiga 48 HRC och i dubbens mitt ej understiga 40 HRC.

Avslutningsvis bör påpekas att det framförallt är härdningsresultatet som tycks påverka dubbens hållfasthet. Med hänsyn till de resultat som meddelats från olika håll i samband med stickprovskontroller, förefaller det vara nödvändigt att öka denna kontroll. För att underlätta detta, bör varje bergdubb vara märkt med uppgift om stålqualité, tillverkare och hårdverkstad. Emellertid är det för närvarande relativt svårt att till rimlig kostnad kontrollera hårdheten i en härddad bergdubb och det finns därför ett stort behov av en enkel metod för kontroll av bergdubbar.

LITTERATUR

- (1) Pettersson, K. E. "Erfarenheter från provning av pålar", Kungliga Väg- och Vattenbyggnadskårens 75-årsskrift, 1926.
- (2) Pettersson, K. E. "Grundläggning av specialtyp", Teknisk Tidskrift 1941.
- (3) Engström, N. "Hållfasthet hos betongpålpetsar", Betong nr 1, 1949.
- (4) Bergfelt, A. "Pålpetsar för anläggning mot berg" Teknisk Tidskrift 85 (1955:1).
- (5) Vold, R. "Ramförsök på stålpeler" Norges Geoteknisk Institutt publ. 17, 1956.
- (6) Bjerrum, L. "Norwegian experiences with steel piles to rock" Norges Geotekniske Institutt publ. 23, 1957.
- (7) Bergfelt, A. "Provtryckning av pålpetsar mot berg" Nya Asfalt AB, rapport nr 8, 1958.
- (8) Fellenius, B. "Slagningsprov av pålskor med bergdubbar" IVA:s pålkommission, Meddelande nr 1, 1963.
- (9) Fellenius, B. "Jämförelse mellan moment, krökningsradie och sprickvidd i betongpålar slagna genom lös lera till släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg", IVA:s Pålkommission, Meddelande nr 3, 1964.
- (10) Pejrud, W., m fl "Provpålning mot släntberg vid skansen Lejonet, Göteborg." IVA:s Pålkommission, Meddelande nr 8, 1965.
- (11) Granholm, H. "Bärförmågan hos armerade betongpålar slagna till fast botten" IVA:s Pålkommission, Meddelande nr 10, 1967.

- (12)

Söderqvist, V. och
Varnbo, B.

"Utformning av bergspets för pålar med hänsyn till fästet i släntberg" Examensarbete vid Institutionen för byggnadsteknik, KTH, 1962-63.
- (13)

Stockholms Hamn

"Rapport över provpålning och provbelastning av stålrörspålar för Lidingöbron vintern 1963-64".
- (14)

Rehnman, S. -E.

"Bärförmåga hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat från modellförsök" IVA:s Pålkommission, Meddelande nr 15, 1968.

Förteckning över bergdubbar och sammanställning
av försöksresultat

FÖRTECKNING ÖVER BERGDUBBAR

Dubb nr	Stålkvalité			Egg- hårdhet HRC	Dia- meter mm	Längd mm	Anmärkning
	SIS	Annan bet.	% Cr				
101	2090*	134HF4	0,48	58	60	310	
102	2090*	134HF4		54	60	310	
103	-	-		53	60	290	
104	2090*	-	0,05	47	60	290	
105	2090*	134HF4	0,41	52	60	290	
106	2090*	134HF4	0,44	27	60	250	
107	2090*	134HF4	0,42	51	60	250	
108	2090*	134HF4	0,42	50	60	250	
109	2090	-	0,06	44	60	270	
110	-	-	-	47	60	270	
111	1650	-	0,07	57	80	200	60° fasad egg
112	1650	-		53	80	200	60° fasad egg
113	1650	-		54	100	225	60° fasad egg
114	1650	-		53	100	225	60° fasad egg
115	2090	-		51	60	150	60° fasad egg
116	-	-	-	54	60	150	
201	2550	-	-	60	60	150	
202	2550	-	-	55	60	150	
203	2512	-	-	60	60	150	
204	2090	-	-	55	60	150	
205	2090	-	-	55	60	150	
206	2090	-	-	60	60	150	
207	2550	-	-	55	60	150	
208	2090	-	-	55	60	150	
209	2090	-	-	50	60	150	Härd. + hardsvets H11 ej härd, end. glödg. 45° fasad egg
210	2090	-	-	24	60	150	
211	2090	-	-	60	60	150	
212	2090	-	-	55	60	150	
213	2090	-	-	24	60	150	
301	2090*	134HF4	0,48	58	60	150	
302	2090*	134HF4		58	60	150	
303	2090*	134HF4		58	60	150	
404	2090*	134HF4		56	60	150	
405	2090*	134HF4		56	60	150	
406	2090*	134HF4	0,48	56	60	150	
418	2090*	134HF4		56	60	150	
419	2090*	134HF4		56	60	150	
502	2090*	MS517	0,83	54	60	150	provslagen bergdubb
506	2090*	MS517		54	60	150	
507	2090*	MS517		54	60	150	
527	2090*	MS517		54	60	210	
528	2090*	MS517	0,83	54	60	210	
529	2090*	MS517		54	60	210	

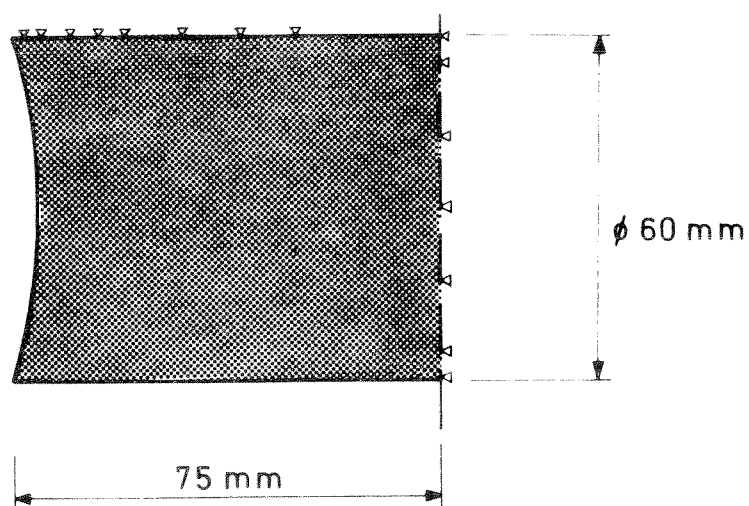
* med förstärkt analys

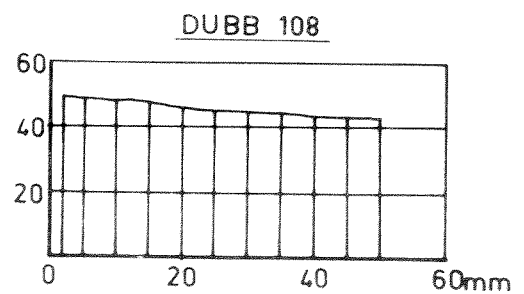
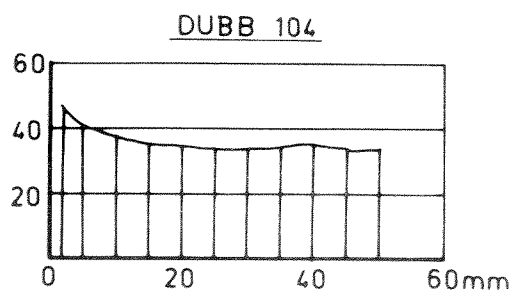
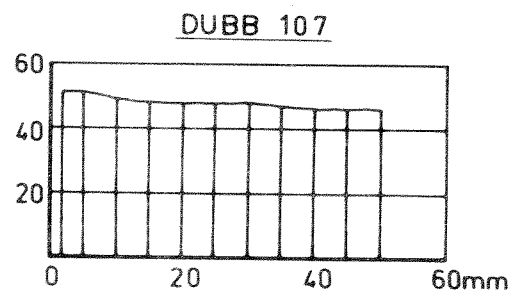
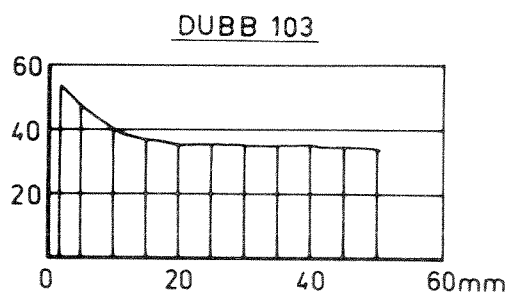
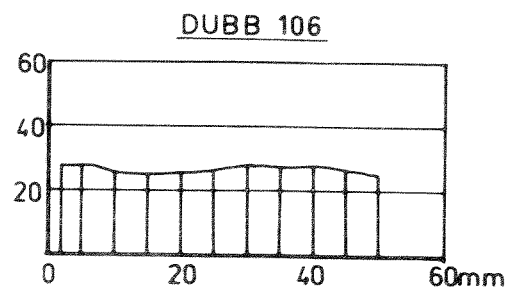
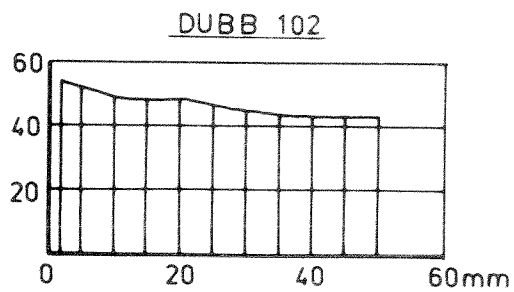
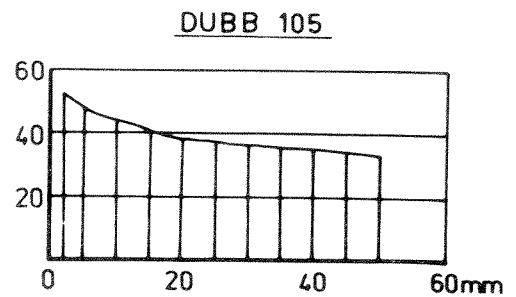
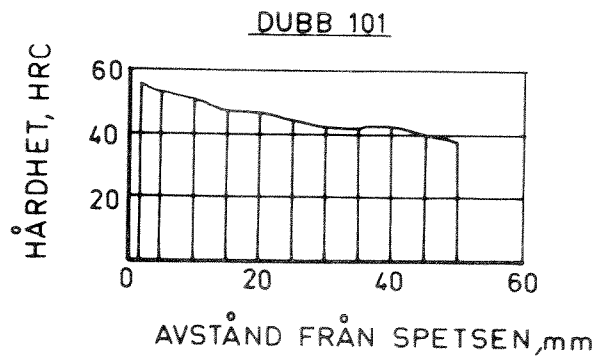
SAMMANSTÄLLNING AV FÖRSÖKRESULTAT

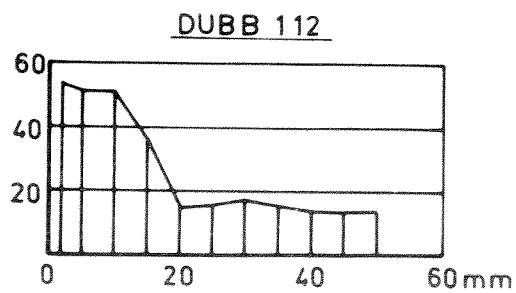
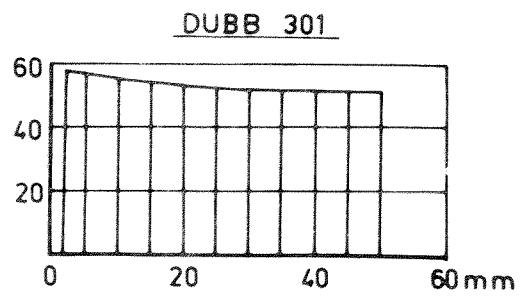
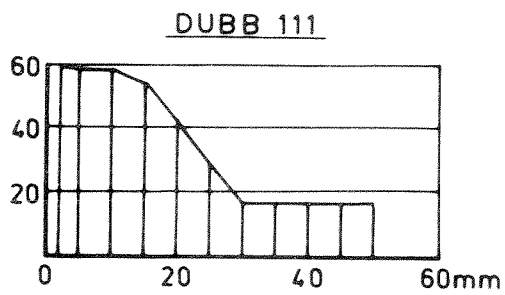
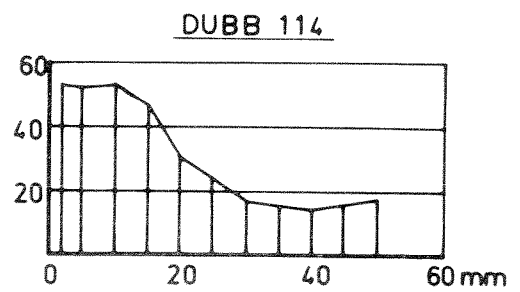
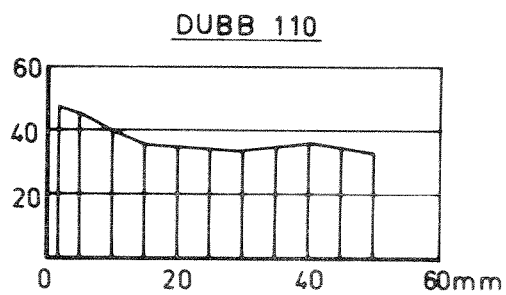
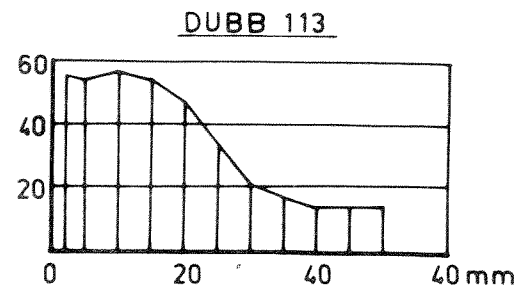
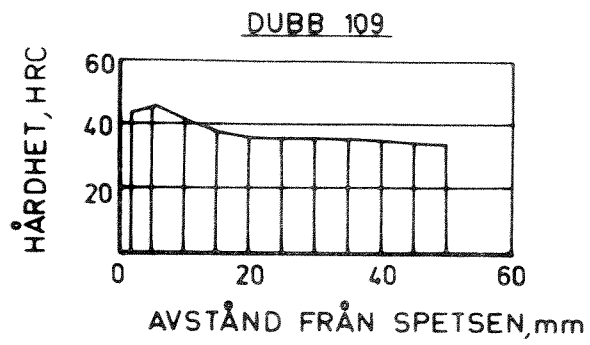
Försök Nr	Dubbens			Begynnande sprick- bildning		Belastningen avbröts vid		Brott i grannityta	Dubben oskadad	Dubben krikt	Sprickor i dubben		Anmärkning
	Stal- kvalité	Egghard- het	Ivår- snitts- area cm ²	Kraft Mp	Kon- takt- yta i	Kraft Mp	Kon- takt- yta i				tangen- tiella	rad- ella	
ARG 111	1650	57	39	230	100	360	100			X		X	bredda sprickor
113	1650	54	64	424	100	500	100					X	
203	2512	60	28	60		160	33				X		eggen sondertrasad
205	2090	55	28	125		160	10				X		eggen sondertrasad
206	2090	60	28	65		80	15				X		eggen sondertrasad
210	2090	24	28	258	100	258	100	X		X		X	kraftigt stukad
211	2090	60	21			224	100	X					15° fasad egg
ARG 101	134HFF4	58	28	140	43	140	43		X		X		
102	134HFF4	54	28	80	30	80	30				X		
103	-	53	28	200	100	200	100			X	X		
110	-	47	28	117		120					X		
418	134HFF4	56	28	240	68	240	68	X			X		
419	134HFF4	56	28			220	70	X	X				
302	134HFF4	58	28			220	100	X	X				
303	134HFF4	58	28			220	100	X	X				
BRG 527	MS517	54	28			260	100	X	X				
CRG 105	134HFF4	52	28	98	44	200	100	X				X	dubben klaven
115	2090	54	28			180	100	X	X				
116	-	54	28			200	98	X	X				
201	2550	60	28			190	100	X	X				eggen något stukad
202	2550	55	28			200	87	X	X				
204	2090	55	28			200	70	X	X				
209	2090	50	28	120	27	200	60					X	eggen kraftigt stukad
213	2090	24	28	166	66	190	75					X	kraftigt stukad
301	134HFF4	58	28			200	87	X	X				
302	134HFF4	58	28			200	100	X	X				
303	134HFF4	58	28			200	97	X	X				
404	134HFF4	56	28			220	100	X	X				
405	134HFF4	56	28			200	100	X	X				
406	134HFF4	56	28			180	100	X	X				
502	MS517	54	28			200	100		X				
506	MS517	54	28			180	100	X	X				
507	MS517	54	28	100	70	200	100				X		
527	MS517	54	28			160	100	X					
528	MS517	54	28			200	100	X	X				
CRG 529	MS517	54	28			190	100	X	X				
AHG 104	2090	47	28	295	100	300	100			X		X	
106	134HFF4	27	28	140	100	140	100			X		X	
107	134HFF4	51	28	175	100	180	100				X	X	dubben klaven
108	134HFF4	50	28	338	100	340	100			X		X	
109	2090	44	28	244	100	250	100				X	X	
112	1650	53	39	266	100	340	100			X	X	X	kraftigt stukad
AHG 114	1650	54	64	444	100	500	100			X		X	
ARS 207	2550	55	28			330	94		X				
AHS 115	2090	51	28			300	100		X				
201	2550	60	28			364	100		X				
202	2550	55	28			400	100		X				
208	2090	55	28			357	100		X				
212	2090	55	28			352	100		X				
301	134HFF4	58	28			300	100		X				
302	134HFF4	58	28			300	100		X				
303	134HFF4	58	28			300	100		X				
404	134HFF4	56	28			300	100		X				
405	134HFF4	56	28			300	100		X				
AHS 406	134HFF4	56	28			300	100		X				

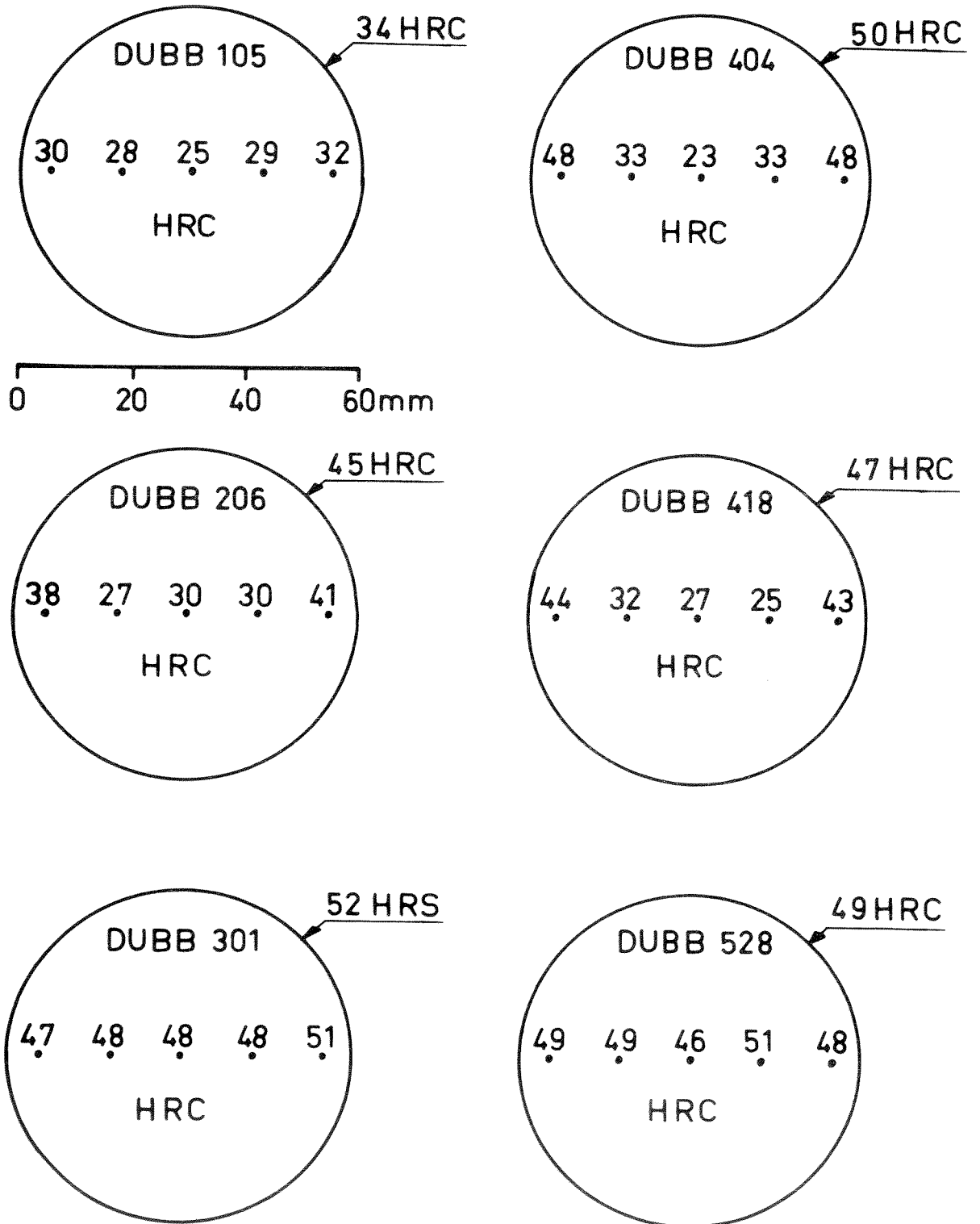
Sammanställning av hårdhetsmätningar

Hårdheten är uppmätt dels längs en generatris och dels i ett tvärsnitt 75 mm från den skålade ändytan.









Omvandlingstabell för hårdhet – brottgräns hos stål

Gäller ej för austenitiskt eller kallbearbetat material

Hårdhetstal			Brottgr.	Hårdhetstal			Brottgr.	Hårdhetstal	
HV	HRB	HB	kp/mm ²	HV	HRC	HB	kp/mm ²	HV	HRC
100	56,4	95	33	400	40,7	379	130	700	59,3
110	63,4	105	36	410	41,5	388	134	710	59,8
120	69,4	114	39	420	42,4	397	137	720	60,2
130	74,4	124	43	430	43,2	405	141	730	60,7
140	78,4	133	46	440	44,0	415	144	740	61,1
150	82,2	143	49	450	44,8	425	147	750	61,5
160	85,4	152	52	460	45,5	433	150	760	61,9
170	88,2	162	55	470	46,3	442	153	770	62,3
180	90,8	171	58	480	47,0	452	156	780	62,6
190	93,0	181	62	490	47,7	460	160	790	63,1
200	95,0	190	65	500	48,3	471	164	800	63,5
210	96,6	200	68	510	49,0	479	168	810	63,9
220	98,2	209	71	520	49,7	488	172	820	64,3
230		219	74	530	50,3	497	176	830	64,7
240	HRC	228	77	540	50,9	507	180	840	65,0
250	23,0	238	80	550	51,5	517	184	850	65,4
260	24,6	247	84	560	52,1	525	188	860	65,7
270	26,2	256	87	570	52,8	535	193	870	66,0
280	27,6	265	90	580	53,3	545	198	880	66,3
290	29,0	275	94	590	53,8	554	203	890	66,6
300	30,3	284	97	600	54,4	564		900	66,9
310	31,5	294	101	610	54,9	573		910	67,2
320	32,7	303	104	620	55,4	582		920	67,5
330	33,8	313	107	630	55,9	591		930	67,8
340	34,9	322	110	640	56,4	601		940	68,0
350	36,0	331	114	650	56,9	611		950	68,4
360	37,0	341	117	660	57,4	620		960	68,7
370	38,0	350	120	670	57,9	630		970	69,0
380	38,9	360	123	680	58,5	638		980	69,3
390	39,8	369	127	690	58,9	647		1000	69,9

Tabellen är baserad på ASTM-normen för omvandlingen HV—HB samt i huvudsak på Euronorm 8—55 beträffande omvandlingen HV—HR och sambandet HB—brottgräns.
Vid brinellprovet förutsättes belastning $F = 30 D^2$ samt hårdmetall- eller Hultgrenkula upp till 450 HB, däröver endast hårdmetallkula.

Utgivna handlingar

Meddelanden

- | | | | | | |
|----|--|-------|----|--|-------|
| 1 | Slagningsprov av pålskor med bergdubbar
Bror Fellenius
1963 | 10: — | 16 | Dynamiska krafter i stålplåtar. Resultat av fältförsök
Gunnar Fjelkner
1970, under utgivning | 20: — |
| 2 | Provpålning för broar inom blivande Olskroks- och
Gullbergsmoten i samband med byggande av Europa-
väg 6 genom Göteborg
Bror Fellenius—Waldemar Pejrud 1964 | Slut | 17 | Bergdubbens hållfasthet. Resultat från statiska belast-
ningsförsök.
Sven-Erik Rehnman
1970 | 20: — |
| 3 | Jämförelse mellan moment, krökningsradie och sprick-
vidd i betongplåtar slagna genom lös lera till släntberg
vid Tingstadsdelen, Göteborg
Bror Fellenius
1964 | 10: — | | | |
| 4 | Pålprovning för järnvägsbro vid Vännäs
Bror Fellenius
1964 | 10: — | | | |
| 5 | Beräkningsmetoder för sidobelastade plåtar
Bengt Broms
1965 | 10: — | | | |
| 6 | Brottlast för snett belastade plåtar
Bengt Broms
1965 | 10: — | | | |
| 7 | Beräkning av vertikala plåtars bärförmåga
Bengt Broms
1965 | 10: — | | | |
| 8 | Provpålning mot släntberg vid Skansen Lejonet, Göteborg
Waldemar Pejrud
1965 | 25: — | | | |
| 9 | Inverkan av armeringsmängd, förspänning och fallhöjd
på sprickrisken hos betongplåtar vid slagning
Sven Sahlin
1965 | 15: — | | | |
| 10 | Bärförmågan hos armerade betongplåtar slagna till fast
bergbotten
Hjalmar Granholm
1967 | 20: — | | | |
| 11 | Bärförmågan hos plåtar slagna till släntberg
Bengt Broms
1965 | 15: — | | | |
| 12 | Dynamisk draghållfasthet hos modellplåtar av oarmerad
betong. Resultat av orienterande försök
Sven Sahlin—Lars Hellman
1966 | 15: — | | | |
| 13 | Pålgruppers bärförmåga
Bengt Broms
1967 | 10: — | | | |
| 14 | Påkänningar, sprickbildning och utmattning vid slagning
av armerade modellplåtar av betong
Sven Sahlin—Bo-Göran Hellers
1970, under utgivning | 20: — | | | |
| 15 | Bärförmåga hos släntberg vid statisk belastning av berg-
spets. Resultat av modellförsök
Resultat av modellförsök
Sven-Erik Rehnman
1968 | 15: — | | | |
| | | | | Övrigt | |
| | | | | Slagning och provbelastning av långa plåtar. Försök i
Gubbero, Göteborg. (Statens Råd för Byggnadsforsk-
ning, rapport 99) | 35: — |
| | | | | Pålningssprotokoll. Blanketter upprättade enligt Särtryck
och preliminära rapporter nr 11. 3 block om 50 blad
pris per block | 10: — |

Särtryck och preliminära rapporter

- 1 Allowable bearing capacity of initially bent piles
Bengt Broms
Referat från pålkommitténs informationsdag 25 okt 1965
Provblastning av påle slagen i lera och friktionsmaterial
Gunnar Hellström
Knäcklasten för momentstyvt skarvade pålar i lera
Krister Cederwall
1965 10: —
- 2 Provblastning av stödpålar av betong inom östra Nord-
staden, Göteborg. Delrapport
Gunnar Hellström
1965 5: —
- 3 Bärighet hos släntberg vid statisk belastning av berg-
spets.
Resultat av modellförsök
Sven-Erik Rehnman
1966 5: —
- 4 Om pålslagning och pålbärighet (Informationsdagen
14/11 1966)
1967 Slut
- 5 Resultat av pålprovning vid Göteborg C
Bror Fellenius 1955
(omtryckt 1967) 20: —
- 6 Om stoppslagning av stödpålar
Lars Hellman
1967 5: —
- 7 Undersökning med syfte att uppställa stoppslagnings-
regler för stålplåtar slagna med trycklufthammare.
Delrapport I
Gunnar Fjelkner
1967 Slut
- 8 Industriell tillverkning av betongpålar
Kajsa Sundberg—Arne Forsell
1968 10: —
- 9 Digitalisering av stötvågsmätningar. Delrapport I
Lennart Vilander
1968 5: —
- 10 Stoppslagning av stålplåtar med lätta slagdon (tryck-
lufthammare. Delrapport II
Gunnar Fjelkner
1968 5: —
- 11 Förslag till anvisningar för pålprovning och enkel prov-
belastning. (Andra omarbetade upplagan)
1970 20: —
- 12 Tillåtna laster på långa stödpålar av betong i östra
Nordstaden, Göteborg. Slutrapport
Gunnar Hellström
1969 15: —
- 13 Kvarstående förspänningskraft i slagna betongpålar. Un-
dersökning av pålar från grunden till Silo 68, Köping
Bo-Göran Hellers
1968 5: —
- 14 Föredrag vid Halmstad Järnverks armeringsdag 17/11
1967
Bengt Broms—Gunnar Sundberg—Per Möller—
Thorild Blomdahl
1968 5: —
- 15 Statistik över antal slagna pålmeter 1962 och 1966
1968 Slut
- 16 Friktionspålars bärförmåga. En studie av utförda prov-
belastningar
Sven Hultsjö—Jan Svensson
1969 25: —
- 17 Ett program för beräkning av stötvågsförloppet vid
friktionspålning. Delrapport II
Lennart Vilander
1969 15: —
- 18 Pålkraftmätare
Bengt H Fellenius—Thomas Haagen
Negative skin friction for long piles driven in clay
Bengt H Fellenius—Bengt Broms
1969 15: —
- 19 Datorberäkning av stötvågsförlopp i pålar medelst varia-
tion av modellparametrar. Delrapport III
1969 15: —
Lennart Vilander
- 20 Nya pålnormer. Föredrag vid informationsmöte 25/4
1969
Göte Åström—Per Sahlström—Erik Sandegren
1969 20: —
- 21 Negative skinfriction on piles in clay. A literature survey
Bengt H Fellenius
1969 20: —
- 22 Deformationsegenskaper hos slagna betongpålar
Bengt H Fellenius—Torsten Eriksson
Friktionspålar bärförmåga. Resultat från fältförsök i
Kanada
Bengt H Fellenius
1969 20: —
- 23 Pålars bärförmåga i elastiskt medium under hänsynsta-
gande till egenspanningar i pålmaterialet
Stig Bernander
1969 20: —
- 24 IVA:s Pålkommission 1959—1969. Uppsatser utgivna i
samband med Pålkommissionens tioårsjubileum
1969 20: —
- 25 Statistik över antal slagna pålmeter
år 1962, 1966 och 1968
1969 10: —
- 26 Föredrag vid Pålkommissionens jubileumsmöte den 20
november 1969.
Den norske pelekomités arbeide
Kaare Flaate
Aktuella forskningsbehov inom pålningsområdet
Bengt Broms
1970 20: —
- 27 Rapport från en resa till Mexiko, USA, Kanada och
England 23.8—13.9 1969
Bengt H Fellenius
1970 20: —
- 28 Mätning av fallhejares anslagshastighet vid pålslagning
Karl-Erik Sundström
1970 15: —