Arkiv. ex.

SP-RAPPORT 1978:9

Borås, februari

ARKIVEX.
BIBLIOTEKET

TEKNISK RAPPORT

METODER FÖR MEKANISK PROVNING AV

TENNISRACKETAR

H Andersson

STATENS PROVNINGSANSTALT
BOX 857, 501 15 BORÅS
TELEFON 033 - 10 20 00

INNEHÅLL

Bakgrund

Syfte

Försöksuppläggning

Provningar

  Dynamisk mätning

  Statisk provning

  Utmattningsprovning

Slutsatser

Appendix

  I Beräkningsmodell

 II Ritningar

III Samband moment-skjuvspänning i limmad racket

BAKGRUND

Under senare tid har den svenska marknaden kommit att innehålla tennisracketar av tvivelaktig kvalitet. Svenska Tennisförbundet har uppmärksammat detta och avser att formulera riktlinjer för provning av tennisracketar. Man har därvid vänt sig till SP med ett uppdrag bestående i framtagning av provningsrutiner.

Eftersom en så komplicerad produkt som en tennisracket måste förutsättas bli bedömd både subjektivt och objektivt av användare, är det viktigt att framhålla att uppdraget till SP rör enbart metoder där egenskaper kan fastställas objektivt, genom mätning.

SYFTE

Syftet med nedan redovisade arbete är att med laboratoriemetoder bestämma en tennisrackets hållfasthet och slitstyrka, samt att på grundval av gjorda erfarenheter föreslå en provningsmetodik.

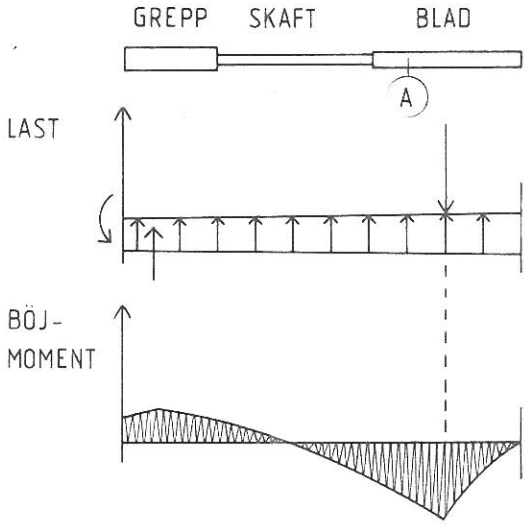
Denna skall vara utslagsgivande så tillvida att den skiljer ut racketar som är olämpliga för seriöst spel p g a bristande hållfasthet eller ojämnhet i tillverkningen. Avsikten är icke att producera metoder för inbördes gradering av olika, i och för sig acceptabla, rackettyper.

De resultat som uppnås förutsätts bli bedömda och sammanvägda med synpunkter från tillverkare, spelare och, mycket gärna, Konsumentverket.

Den resulterande provningsmetoden skall vara så enkel att tillämpa att den kan genomföras rutinmässigt för typprovning utan att kostnaderna blir konkurrensbegränsande.

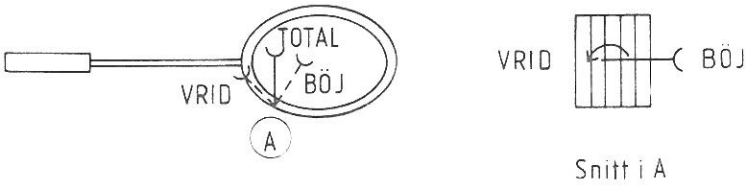
FÖRSÖKSUPPLÄGGNING

Utgångspunkten är att finna en metod som är enkel att realisera i laboratoriemiljö, men som är en så god simulering av verklig användning som möjligt. Då en racket slås mot en boll och retarderas uppstår moment p g a tröghetskrafter och belastning från boll och grepp. Beroende på hur racketen svingas kan lite olika fall uppstå. Det principiella beteendet för krafter och moment är skissat i Figur 1. Av erfarenhet vet man att racketar normalt går sönder



Figur 1. Belastningar i tennisracket

ungefär i punkten A i Figur 1. Detta beror på att böjmomentet här delas upp i en komponent som böjer och en som vrider ramen, se Figur 2. Till detta kommer att ramen vrides p g a att strängarna trycks ur racketplanet och att ramen är förspänd p g a strängningen. Den vridning som uppkommer i punkten

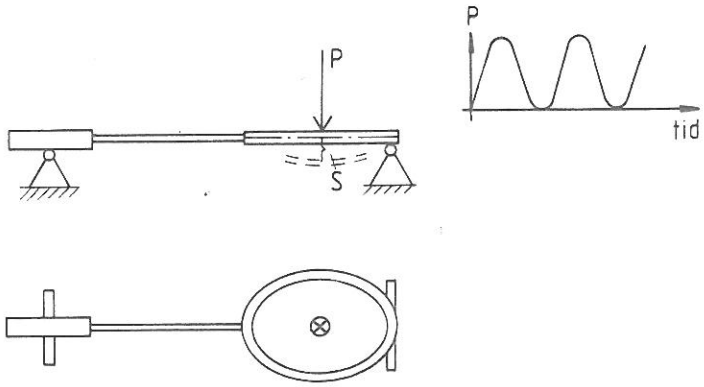


Figur 2. Snittmoment p g a slag mot boll

A förstör, vid limmade racketar, limfogen och försvagar därigenom racketen mot fortsatta belastningar.

De krafter som är uppritade som statiska i Figur 1 och 2 varierar i själva verket under och efter ett slag som dämpade svängningar, med olika frekvenser i olika punkter (se nedan). Då man vill undersöka slitstyrkan bör man alltså bygga en fixtur där racketen under kontrollerade former kan utsättas för belastningar liknande dem i Figur 1 och 2 ett flertal gånger; i princip så många som svarar mot en "livstid" i antal slag. För de material och tider det här rör sig om, behöver ingen hänsyn tas till belastningshastighet vid verkligt slag och vid simulering, och den simulerade belastningen behöver alltså inte ske i ett visst tempo.

En provfixtur har därför byggts upp enligt ritningar i Appendix. Den är ansluten till en provningsmaskin i vilken en kontrollerad fram- och återgående rörelse kan åstadkommas med god kontroll. Det belastningsfall som åstadkommes är trepunkts böjning enligt Figur 3.



Figur 3. Belastning i fixtur

I denna apparatur har pulsationsförsök utförts, liksom statiska prov med lastpåläggning till brott.

För att man skall få en uppfattning om hur väl provförfarandet stämmer överens med verkligheten har en racket försetts med givare för elektronisk utvärdering av påkänningar vid spel.

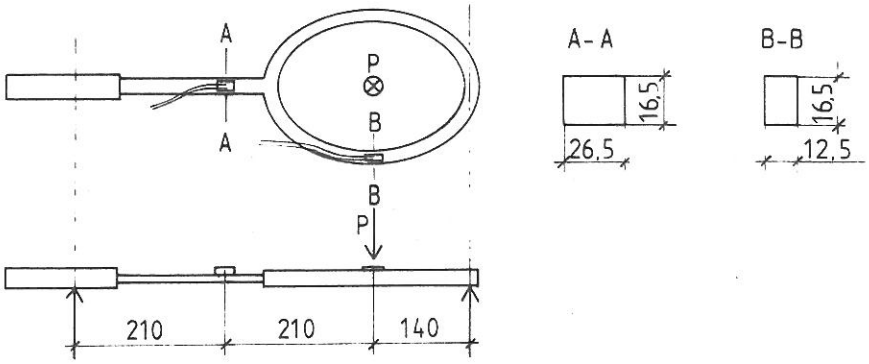
För undersökning av racketars känslighet för fukt och värme har ett antal racketar konditionerats före belastningsförsöken.

Resultaten av de experiment som relateras nedan har legat till grund för utarbetandet av förslag till riktlinjer för provning av tennisracketar.

PROVNINGAR

Mätning med instrumenterad racket

En tennisracket har försetts med trådtöjningsgivare enligt Figur 4. Dessa ger en ögonblicklig respons på töjningarna i de punkter där de applicerats i form av en elektrisk spänningsändring proportionell mot töjningarna. Ur dessa kan man sedan beräknings-mässigt bestämma påkänningar (mekaniska spänningar).

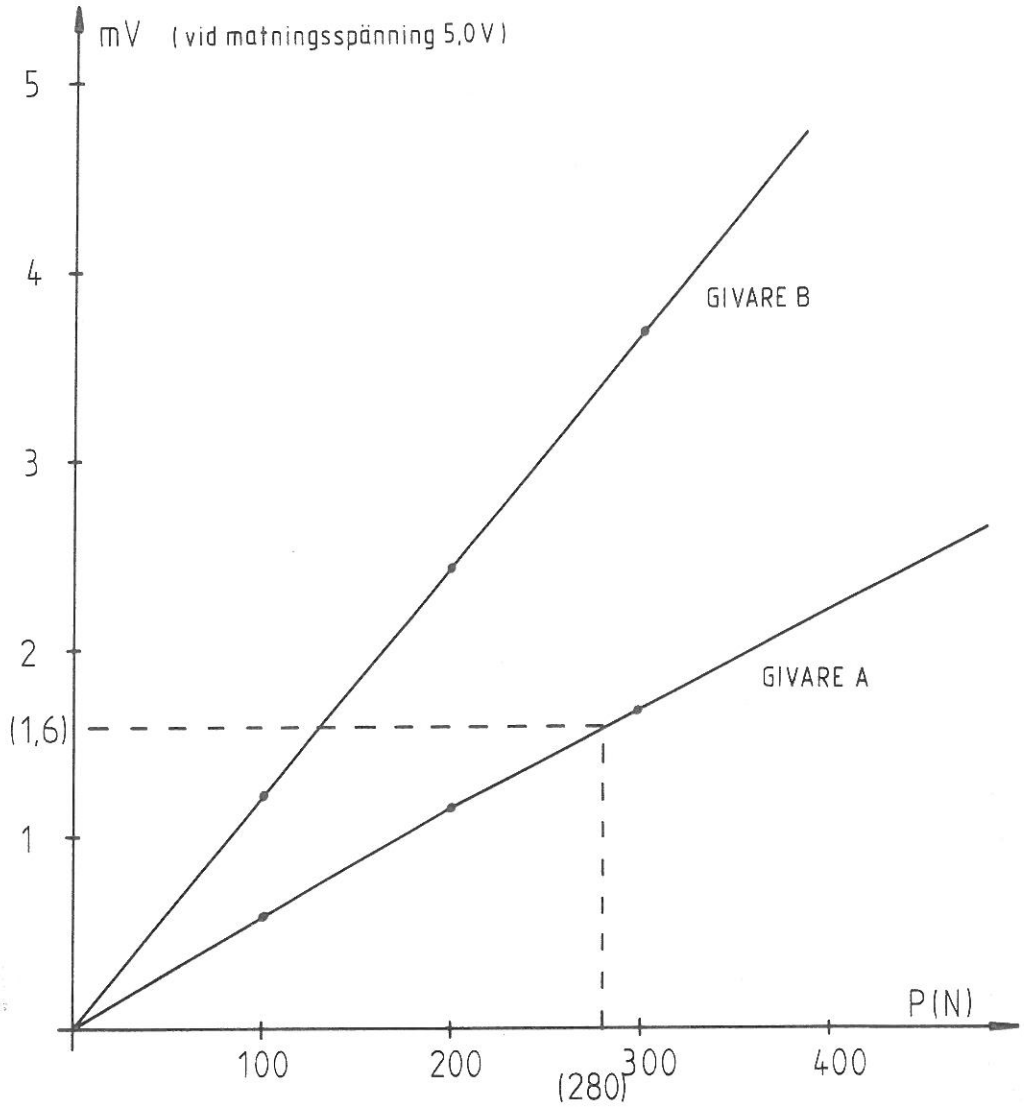


Figur 4. Placering av givare och mått för instrumenterad racket

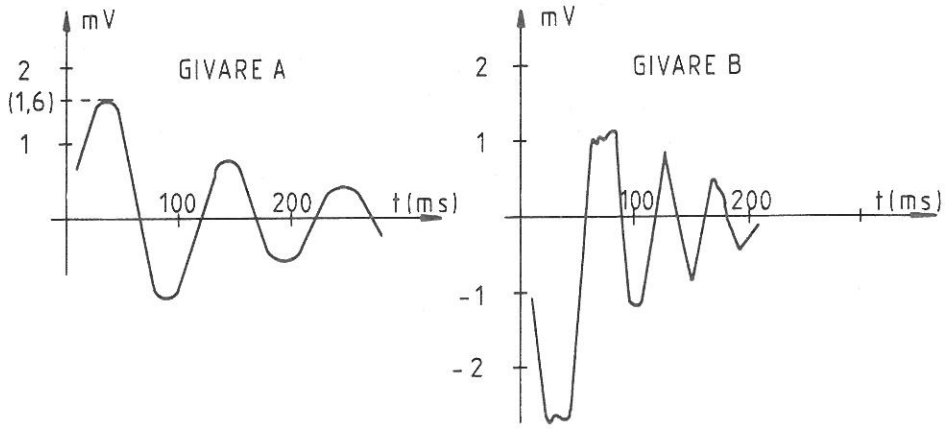
Sambandet mellan belastning, P, och elektrisk signal har bestämts genom uppmätning i belastningsmaskinen. Resultatet återges i Figur 5, som alltså är ett kalibreringsdiagram.

Racketen har därefter använts vid spel, och de elektriska signalerna har registrerats på oscillograf för forehandslag och serve. Typiska resultat är skisserade för de bägge givarna, i Figur 6. Frekvenserna ligger kring 70-150 Hz, och de nivåer som uppnås för serve är ungefär dubbelt så höga som de som anges för forehand.

Resultaten för givare B är lite mer övertonsbemängda eftersom strängarna har betydelse för deformations-förloppet här.

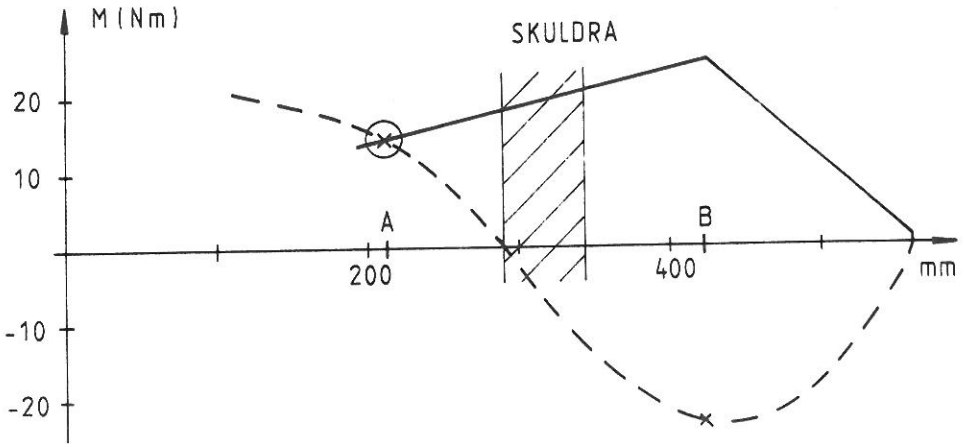


Figur 5. Kalibreringsdiagram



Figur 6. Resultat från forehandslag

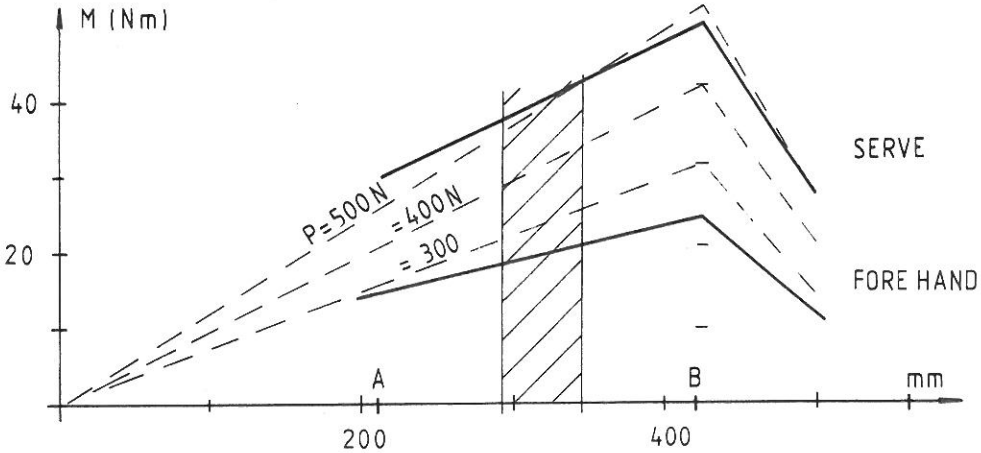
Genom att använda de maximala värdena i Figur 6, och omvandla dessa m h a kalibreringsdiagrammet och måttsättningen i Figur 4, kan ett diagram över momentbelastningen i racketen uppritas enligt Figur 7a.



Figur 7a. Momentdiagram för forehandslag (toppvärden)

(Ta t ex punkten 1.6 mV i Figur 6, givare A, och gå in i diagrammet för att få P till 280 N. Enligt Figur 4 svarar detta mot ett moment i punkten A av

$$M = \frac{P \cdot 140}{560} \cdot 0.210 = \frac{280 \cdot 140}{560} \cdot 0.210 = 14.7 \text{ Nm}$$, d v s grova punkten i Figur 7a.) Eftersom svängningarna har olika frekvens, inträffar efter ett tag att de, i motsats till Figur 7a, har samma fas, d v s böjer racketen åt samma håll. Då svängningarna är dämpade blir dessa amplituder mindre. Det värsta som kan hända under ett slag är alltså att den känsliga regionen vid skuldrorna utsätts för moment enligt den heldragna kurvan i Figur 7a. Denna uppskattning är approximativ (motiveras i Appendix). I Figur 7b har sådana approximationer lagts in för serve och forehand tillsammans med statiska momentkurvor som uppnås i belastningsfixturen för olika krafter.

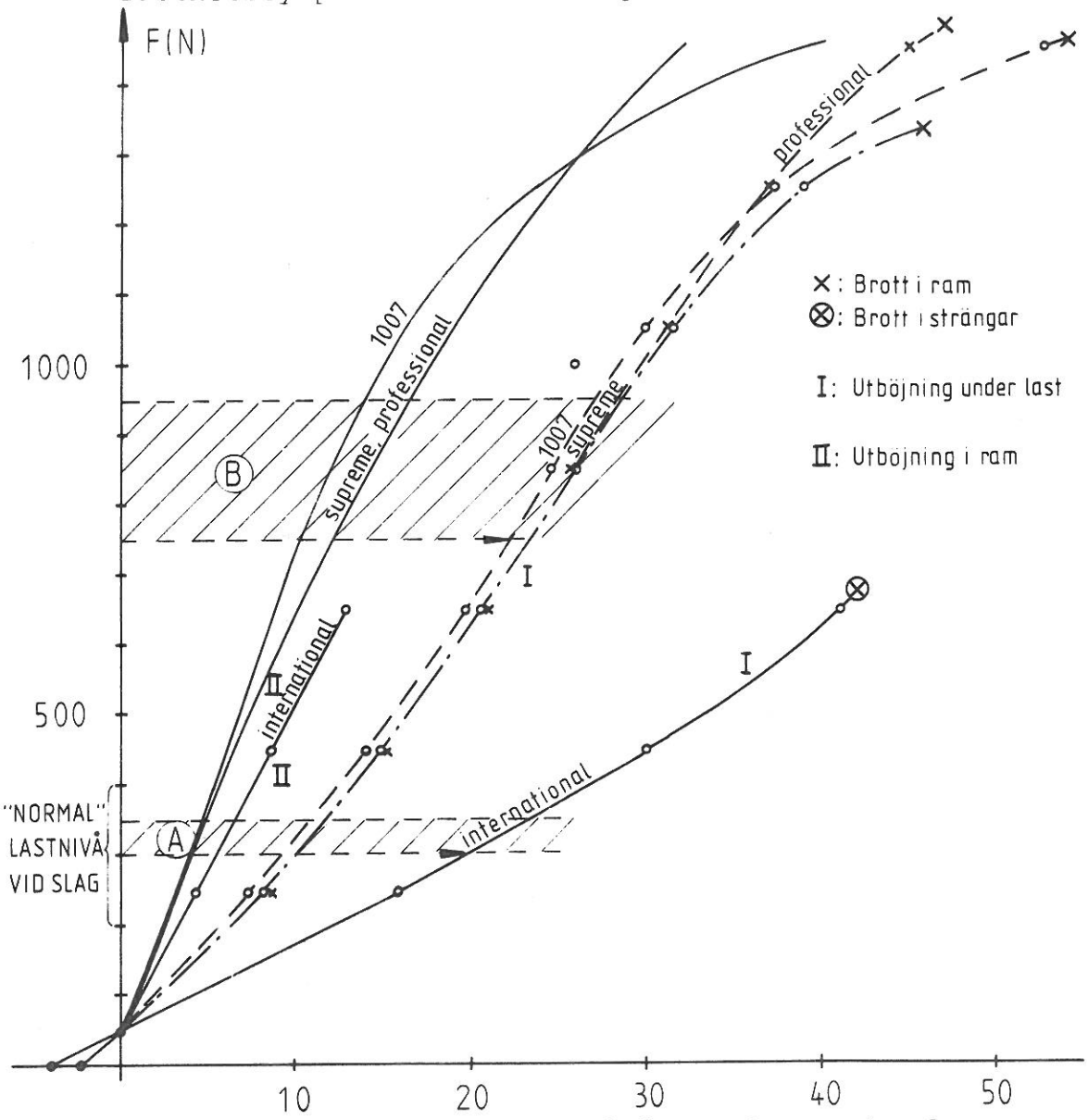


Figur 7b. Jämförelse mellan dynamiskt moment och moment vid statisk last i skuldreregionen

Som resultat av denna del av undersökningen fås att en kvasistatisk utmattningsprocess i belastningsanordningen av så många lastväxlingar, t ex 10^5, som anses svara mot antalet servar (hårda slag) under en "livstid", kan simuleras med amplituder av 400-500 N. En bedömning av de påkänningar i limmet, som då uppstår, ges i Appendix.

Statisk provning

En racket av var och en av fyra typer har belastats statiskt i belastningsanordningen. Sambandet mellan last och deformation, enligt Figur 3, visas i Figur 8. Härur ses att tre av rackettyperna ur statisk hållfasthetssynpunkt är likvärdiga medan den fjärde avviker



Figur 8. Diagram över last-deformationssamband

genom lägre styvhet och lägre brottlast. Skillnaden i styvhet består till stor del i skillnad i strängning.

Som synes är styvheten i själva ramen endast ca 30-40% lägre än för de övriga. Antydan till S-form hos kurvorna beror på två samverkande fenomen. Vid låga och medelhöga laster samverkar strängarnas materialegenskaper och den utböjda geometrin till att ge ökad styvhet, vid högre laster deformeras ramen permanent och minskad styvhet resulterar. Skuggat område A i Figur 8 markerar område där permanent deformation börjar uppträda i "international", område B där permanent deformation uppträder för de övriga typerna. Nivåerna har erhållits genom återgång till nollast och uppmätning av permanent deformation.

"Normal" lastnivå i Figur 8 markerar område som för den känsliga regionen i racketen är ungefär likvärdigt med förhållanden under spel. Inför utmattningsprovningen är det viktigt att bestämma en relevant lastnivå. Med hänsyn till att racketen i verkligheten belastas åt bägge håll, bedömes en lämplig ensidigt pulserande last kunna vara 50-400 N eller 50-500 N.

Utmattningsprovning

För att man skall kunna utröna om den ovan angivna lastnivån är rimlig, har pulsationsförsök gjorts med konditionerade och icke konditionerade racketar av typ 1007 och professional med laster på 50-550 N och 50-650 N enligt tabell I. Som synes sker avbrott p g a utmattningsbrott hos racketen i några fall.

Racketar av typ "international" går ej att prova vid dessa höga nivåer på lasten.

Slutsatser

Även om erhållet racketmateriel varit ytterst begränsat bör man kunna dra vissa slutsatser ur den gjorda undersökningen. T ex torde man utan risk att behöva förkasta "goda" racketar, men med rätt säker utsållning av "dåliga" racketar, kunna basera en provning på statiskt böjprov på en racket och utmattningsprov på en racket, med den här framtagna fixturen och utmattningslasten 50-400 N, samt krav på statisk last över 900 N.

Till detta kan det vara rimligt att foga krav på att inga permanenta deformationer skall uppstå vid statisk last upp till 600 N, samt eventuellt krav på kvalitetsjämnhet (mått etc) och klimattålighet.

Under våren 1977 har kontakt förevarit med Tretorn AB. Av "skyddsskäl" har man där ställt sig ovillig till samarbete. För att de slutliga provningskraven skall bli så relevanta som möjligt bör de, genom förmedling av Svenska Tennisförbundet eller Konsumentverket, utformas efter samråd med de stora tillverkarna.

Tabell 1

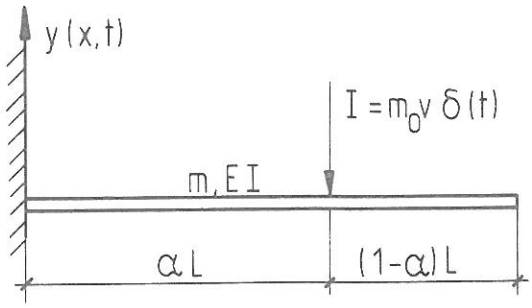
Racket nr[x]	Typ	Klimat[xx]	Belastning	Resultat
1	International	Nej	Statisk till kollaps	Limfog spricker genast vid belastning
2	International	Ja	50-400N 40000 cykler	Limfog spricker efter ca 1000 cykler
3	Supreme	Nej	Statisk till kollaps	Se figur 8
4	Supreme	Nej	50-600N	Brott vid ramhål (förmodl. överbel.)
5	Supreme	Ja	50-550N 100000 cykler	Inga skador
6	Supreme	Nej	50-650N 100000 cykler	Inga skador
7	Professional	Nej	Statisk till kollaps	Se figur 8
8	Professional	Nej	50-550N 100000 cykler	Inga skador
9	Professional	Ja	50-650N 100000 cykler	Inga skador
10	Professional	Nej	Instrumente-rad för spel-simulering	Se sid 7-8
11	"1007"	Nej	Statisk till kollaps	Se Figur 8
12	"1007"	Ja	50-550N ca 40000 cykler	Utmattningsbrott vid ram
13	"1007"	Ja	50-650N 100000 cykler	Inga skador
14	"1007"	Nej	50-750N 50000 cykler	Utmattningsbrott
15	International	Nej	Provning ej genomförd	-
16	International	Nej	50-450N 100000 cykler	Limfog spricker

x Intern numrering
xx Klimatisering enligt intyg i internrapport

Appendix I

Analytiska lösningsmetoder för denna typ av problem

Betrakta som exempel fallet i vidstående figur.



Figur A 1.

En balk med massa m, böjstyvhet EI och längd L, träffas av impulsen $m_0 v$ i en punkt αL från infästningen. Impulsen har en varaktighet som är kort jämförd med periodtiden för intressanta egensvängningar hos balken. Från dämpning bortses. Denna modell är en idealisering av processen anslag av boll mot tennisracket.

För modellen gäller (t ex enligt Timoshenko, Young and Weaver) följande. Deformationen hos balken som funktion av tid och koordinat, y(x,t) enligt figur, kan skrivas

$$y(x,t) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{X_i(x)\ X_i(\alpha L)}{\omega_i} \cdot \frac{m_0 v}{m} L \sin \omega_i t$$

Här är ω_i egenfrekvenser för de olika moderna $X_i(x)$ hos det fritt svängande systemet. Med de speciella förhållanden som gäller i detta exempel fås att ω_i och $X_i(x)$ erhålles genom nedanstående formler:

Först beräknas $\mu_i L$ ur egenvärdesekvationen

$$\cos \mu_i L \cosh \mu_i L = -1 \qquad i=1,2,\ldots$$

Därefter erhålles

$$\omega_i = (\mu_i L)^2 \sqrt{\frac{EI}{mL^3}} \qquad i=1,2,\ldots$$

Funktionen $X_i(x)$ blir

$$X_i(x) = \frac{1}{\sqrt{R_i}} \left[(\cosh\mu_i L + \cos\mu_i L)(\sinh\mu_i x - \sin\mu_i x) + (\sinh\mu_i L + \sin\mu_i L)(\cos\mu_i x - \cosh\mu_i x)\right]$$

där

$$R_i = L(\cosh\mu_i L+\cos\mu_i L)^2 \cdot$$

$$\cdot\left[\frac{\sinh 2\mu_i L-\sin 2\mu_i L}{4\mu_i L} + \frac{1}{\mu_i L}(\sinh\mu_i L\cos\mu_i L-\cosh\mu_i L\sin\mu_i L)\right] +$$

$$+2L(\cosh\mu_i L+\cos\mu_i L)(\sinh\mu_i L+\sin\mu_i L)\times\left[\frac{1-\cosh 2\mu_i L-\sin 2\mu_i L}{4\mu_i L}\right]+$$

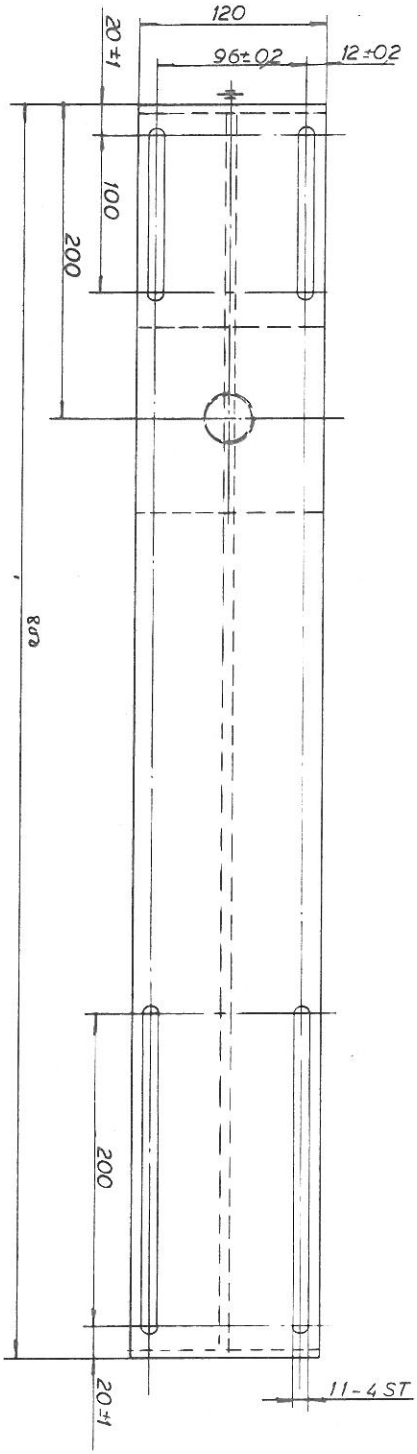
$$+L(\sinh\mu_i L+\sin\mu_i L)^2 \cdot$$

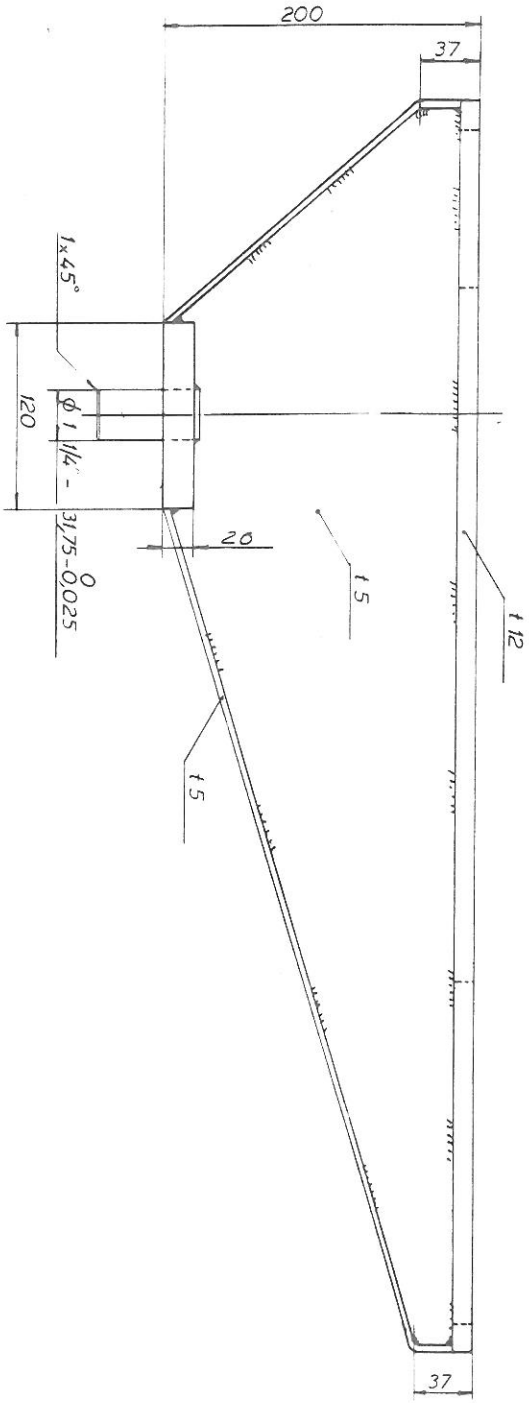
$$\cdot\left[1+\frac{\sinh\mu_i L+\sin\mu_i L}{4\mu_i L} - \frac{1}{\mu_i L}(\sinh\mu_i L\cos\mu_i L+\cosh\mu_i L\sin\mu_i L)\right]$$

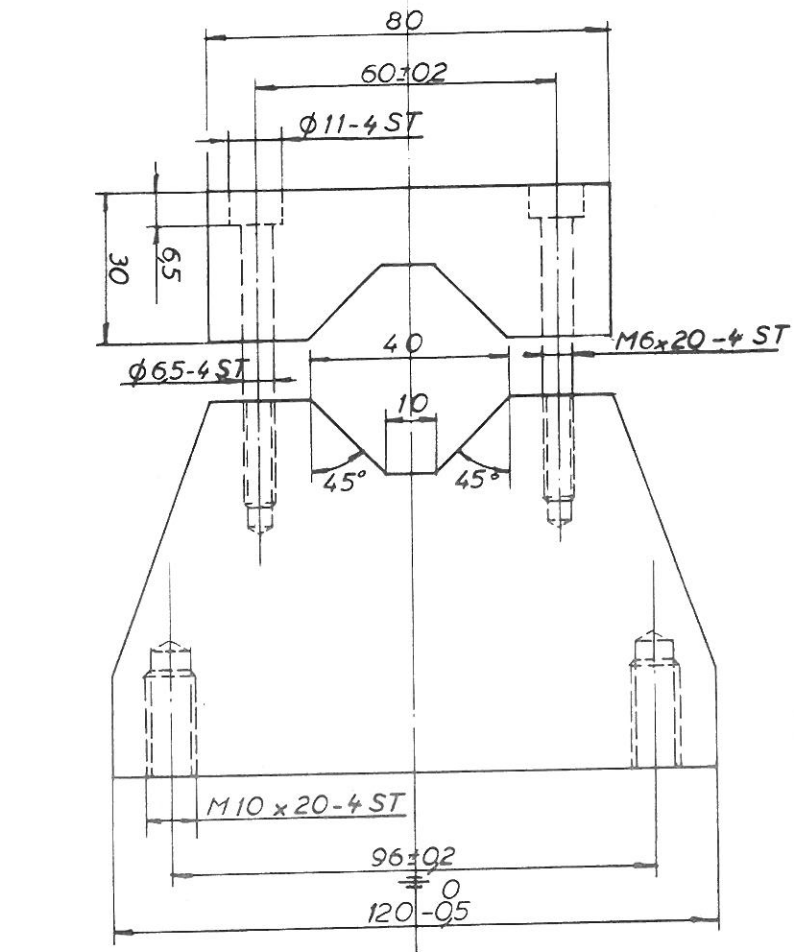
Dessa beräkningar programmeras och genomföres lätt med tillräcklig noggrannhet med minidator. Här demonstreras metodiken mest för att ge underlag till beslut om eventuell analytisk behandling. Så snart dämpning införes, eller om en mer realistisk balk-geometri introduceras får man övergå helt till numeriska metoder.

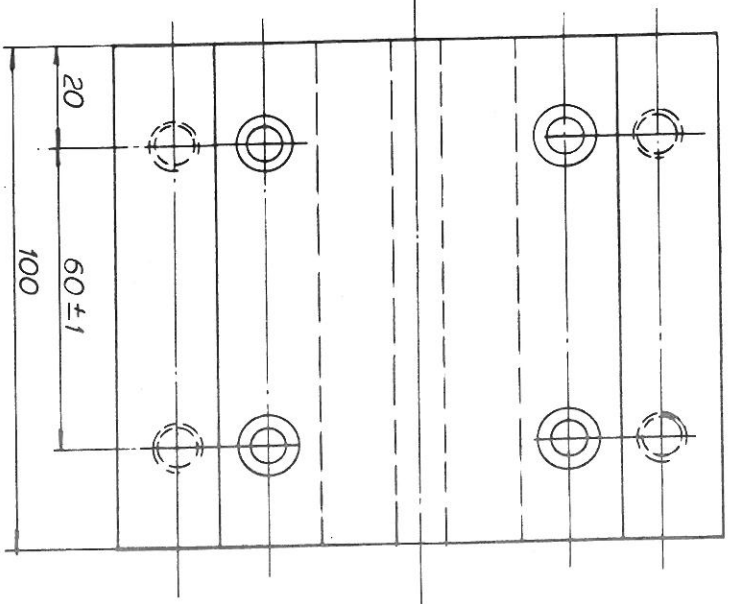
Av visst värde kunde vara att se om den föreslagna I-punkts-böjmodellen för en tennisracket är en bra approximation vid den dynamiska belastningen.

Man ser också att det i och för sig inte ligger någon motsägelse i det faktum att olika frekvenser slår igenom i olika delar av racketen vid den experimentella undersökningen. Det kan vara så att formfunktionen $X_i(x)$ gynnar olika frekvenser i olika lägen.


120
20±1
96±0,2
12±0,2
100
200
800
200
20±1
11-4 ST


200
37
1x45°
120
ϕ 1 1/4"
31,75 0 -0,025
20
t 5
t 12
t 5
37





Nr	Ant.	Ändring och/eller medd.-nr	Datum	Inf.	Godk.

Nr	Ant.	Ändring och/eller medd.-nr	Datum	Inf.	Godk.

Det.-nr	Ant.	Benämning	Material	Mod.-nr Ämne Dimension	Anm.
Konstr.	1	HANDTAGSFÄSTE	SIS 1650		
Ritad					
Kap.					
Kontr.					
Ständ.					
Godk.					
Skala 1:1				Ersättar	
				Ersatt av	
				Del.	

RACKETPROV

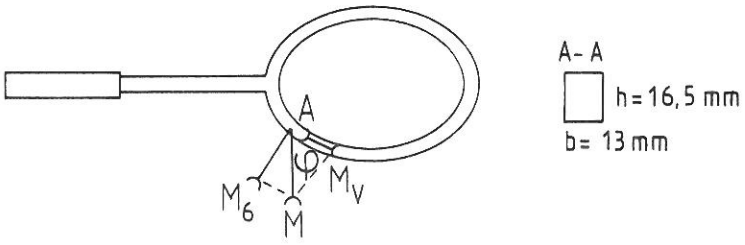
Ritn.-nr

A4

Appendix III

Samband moment-skjuvspänning i limmad racket

Med en momentvektor enligt Figur A3 erhålles ett



vridande och ett böjande moment. Det böjande momentets inverkan reduceras av de tryckspänningar som finns i ramen p g a strängningen. Det vridande momentet M_V blir

och den därav resulterande skjuvspänningen maximalt

$$\tau_{max} = \frac{4M_V}{hb^2 \cdot 0.89}$$

Med de mått som ges i Figur A3 och med det i Figur 7b beräknade momentet för forehandslag i en punkt motsvarande $\alpha \approx 45^\circ$ erhålles ($M \sim 2 \cdot 10^4$ Nmm).

$$\tau_{max} \approx \frac{4 \cdot M \cos 45}{16.5 \cdot 13^2 \cdot 0.89} \approx 23 N/mm^2$$

För serve blir resultatet ungefär det dubbla. Dessa spänningar ligger strax under eller i en region när utmattning kan befaras.