



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för vattenbyggnad

ISSKRUVNING KRING FYRTORN

MODELLFÖRSÖK

AV

BENGT RYNDEL

LARS STRÄHLE

EXAMENSARBETE 1973:3

GÖTEBORG

Examensarbete 1973:3

Isskruvning kring fyr torn, modellförsök

Bengt Ryndel

Lars Stråhle

PROGRAM

Examensarbete i vattenbyggnad

ISSKRUVNING KRING FYRTORN

Examensarbetet är tänkt som ett laboratorieförsök för att bestämma hur isskruvning och krafter mot ett fyrorn beror av fyrens form och packisens utseende.

Examensarbetet omfattar

- a) Läsning av en litteraturoversikt samt 4 st korta originalartiklar, se nedan.
- b) Utfundering av lämpliga mätmetoder.
- c) Modifiering av målsättningen ovan, begränsning av problemet och upprättande av mätprogram.
- d) Byggandet av mätutrustning, modellis etc. med assistans av vattenbyggnads personal.
- e) Genomförandet av mätprogrammet.

HANDLEDARE: Lars Bergdahl tel. 81 01 00 - 1328

Litteratur:

Lars Bergdahl: Ice Pressure against Light-houses. Meddelande nr 59, Inst. f. vattenbyggnad, 1971.

Allen, Monti, Lavoie and Nadon: Effective Force of Floating Ice on Structures. National Research Council of Canada. Tech. Mem. No. 98, Ottawa 1970.

Allen et al.: Analysis of Forces in a Pile-up of Ice. National Research Council of Canada, Tech. Mem. No. 98, Ottawa 1970.

Bruun, P and Straumsnes, A: Piling up of Ice on Seashores and on Coastal Structures. IAHR, Congress, Reykjavik, September 8-10, 1970.

Frost, Rikard: Uppförandet av fem bottenfasta fyrar invid djuprännan i Kalmar Sund. Betong Årg. 26, Stockholm 1941.

Göteborg februari 1973

Lars Bergdahl

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	1
2.	SKADOR PÅ FYRAR	2
3.	ÄLDRE UNDERSÖKNINGAR	4
3.1	En liknande undersökning	4
3.2	Ytterligare undersökningar	4
4.	TEORETISK BAKGRUND	6
4.1	Isens upptorning	6
4.2	Iskrafterna	9
4.3	Modellskalor	9
4.4	Diskussion över olika typer av modellis	10
5.	FÖRSÖKSANORDNING	12
5.1	Princip för experimenten	12
5.2	Beskrivning av försöksanordning	12
5.3	Fyrtyper	15
5.4	Modellskala	15
5.5	Val av deformationshastighet	15
5.6	Beskrivning av istäcket	16
6.	KRAFTMÄTNINGEN	17
6.1	Kalibrering av givare och skrivare	17
6.2	Kontroll av bärverket med hjälp av dynamometer	17
7.	FÖRSÖKSUTFÖRANDE	19
8.	MÄTRESULTAT	20
8.1	Tabeller över mätvärden och framräknade storheter	20
8.2	Feluppskattning	23
9.	UTVÄRDERING AV MÄTRESULTAT	32
9.1	Allmänt om de olika istyperna	32
9.2	Istypens inverkan, sammanställt i diagramform	33
9.3	Kommentarer till kraftdiagrammen	36
9.4	Upptorning och nedpressning samt dess inverkan på hävarens längd	37
9.5	Inverkan av närheten till botten	39
9.6	Hastighetens inverkan	41
9.7	Kraftangreppens periodicitet	42
9.8	Beräkningsexempel teori-modellförsök	43
9.9	Jämförelse modell-verklighet	44
10.	SAMMANFATTNING	46
	LITTERATURFÖRTECKNING	47
	FIGURBILAGA (kan vikas ut)	

1. INLEDNING

Istryck mot fyrtorn har sedan länge varit ett känt fenomen. Man har dock saknat säkra grunder för dimensionering av fyrarna. Flera fall av skador har uppträtt, bl. a. i Bottenhavet, där fyren Nygrån utanför Luleå bröts ned år 1969 till följd av istrycket. Tainio, en fyr i Finska viken, försköts 14 m från sitt ursprungliga lägen vintern 1966-67.

Detta examensarbets målsättning har varit att med modellförsök studera kraftspelet kring ett fyrtorn utsatt för drivande is (isskruvning).

2. SKADOR PÅ FYRAR

I april 1969 förstördes fyren Nygrån utanför Luleå. Tornet bröts vid ett snitt som ligger 1 meter under vattenytan. Brottmomentet i detta snitt var $8,1 \cdot 10^6$ Nm. Eftersom friktionskraften mellan kassunen och underliggande sandbädd uppskattades till $4,2 \cdot 10^6$ N måste följaktligen iskraftens angreppspunkt legat minst 1 m högre än vattenytan, när man kunde konstatera att någon förskjutning ej hade ägt rum. I detta fall var alltså isens upptorning orsaken till det inträffade.

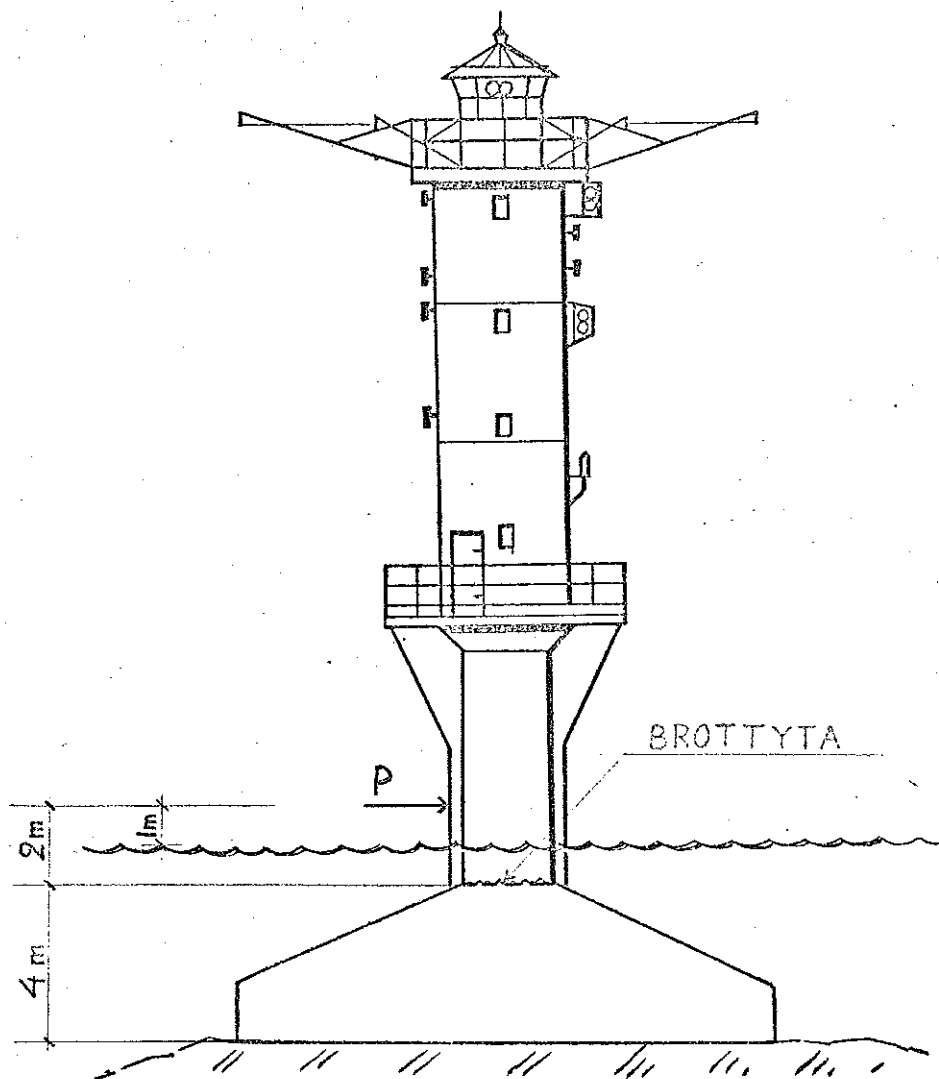


Fig. 1 Fyren Nygrån

Fyren Tainio i Finska Viken grundlades på en makadambädd på 9 m djup. I oktober 1966 var fyren färdigställd så när som på injekteringen av makadambädden vilken skulle ske sommaren därpå. Under vintern 1966-67 utsattes fyren för kraftig isskruvning och försköts hela 14 m från sitt ursprungliga läge. Uppstickande klippspetsar hindrade fyren från att förskjutas ytterligare. Iskraften var här av storleksordningen $4,7 \cdot 10^6$ N. Fyrens otillräckliga förankring var alltså i detta fall orsaken till det inträffade. Se vidare [1] .

3. ÄLDRE UNDERSÖKNINGAR

3.1 En liknande undersökning

Sedan trettioalets början har man byggt kassunfyrrar i Östersjön. Dessa fyrrar konstruerades utan några egentliga dimensioneringskriterier med avseende på isens inverkan.

Det var först åren 1939-41 i samband med uppförandet av fem bottenfasta fyrrar invid djuprännan i Kalmarsund som hänsyn togs till dessa problem, se fig. 2. Under överinseende av övering. Rickard V. Frost [2] utfördes då ett antal modellförsök med avsikt att uppskatta istryck och bottenfriktion. Vid försöken användes ett flertal fyrtyper i skala 1:20 samt 1:30. Den modell som användes i försöken bestod av träplattor med måtten 10 x 10 x 2,5 cm. Dessa bitar lades helt oordnat i en ränna varför försöken således motsvarar vad vi i detta arbete kallar packis. Angreppskraftens storlek mättes under försökens gång med hjälp av en fjädervåg monterad på fyren. Dessutom gjordes försök för att mäta friktionen mellan kassun och olika typer av undergrund. En del av dessa utfördes i form av stötförsök för att ge en uppfattning om resultatet vid kollision med fartyg.

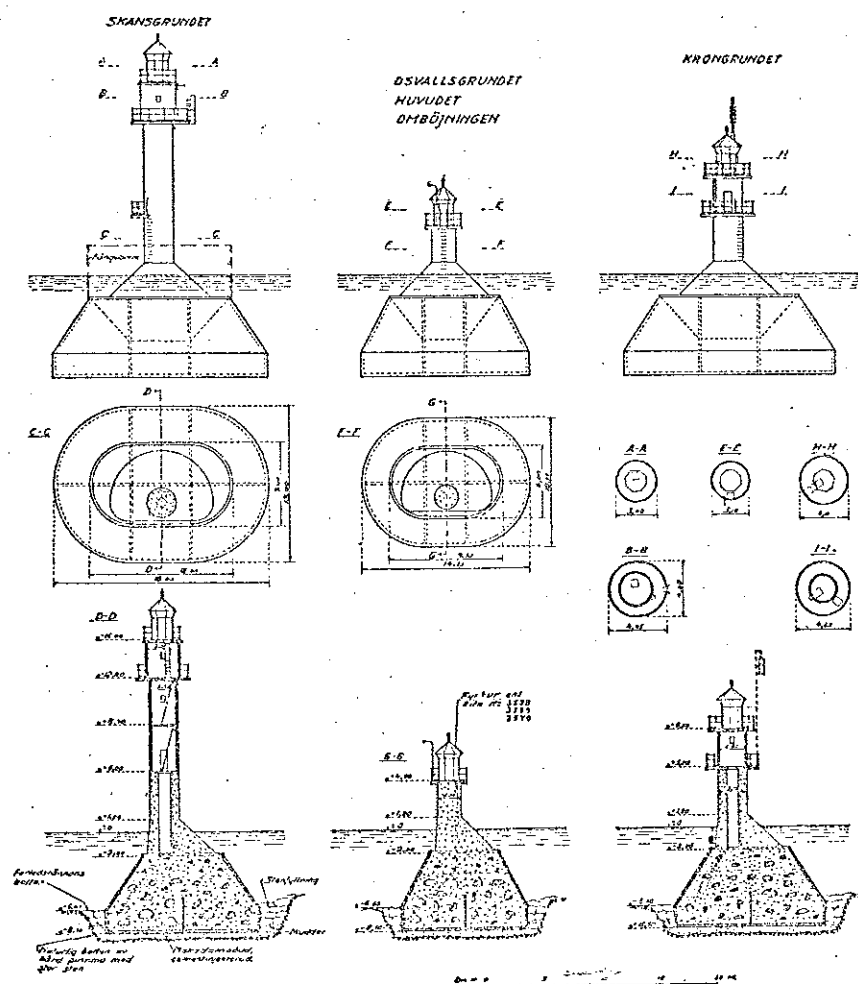
3.2 Ytterligare undersökningar

Undersökningar angående isens upptorning har gjorts bl. a. i Skandinavien, Sovjetunionen och Nordamerika. Bruun och Straumsnes [8] skriver om fältobservationer gjorda i Öresund, Stora Bält, Lake Superior, USA, och Lake Eric, Canada.

Palosuo [9] skriver om sina studier av en isvall i Östersjön.

Allen, Monti, Lavoie och Nadon [3] har gjort en teoretisk analys av kraftspelet i en isbröt. Detta behandlas under punkt 4.1.

Korzhavin [7] har uppställt en ekvation för beräkning av kraften från ett drivande istäcke, se punkt 4.2.



Om man bortser från friktion fås:

$$f' = w \cdot \sin \beta = \frac{h' \cdot \rho \cdot g \cdot dh}{\tan \beta} \cdot \sin \beta = h' \cdot \rho \cdot g \cdot \cos \beta \cdot dh \quad (3)$$

$$n' = w \cdot \cos \beta = \frac{h' \cdot \rho \cdot g \cdot dh}{\tan \beta} \cdot \cos \beta = \frac{h' \cdot \rho \cdot g \cdot \cos \beta \cdot dh}{\tan \beta} \quad (4)$$

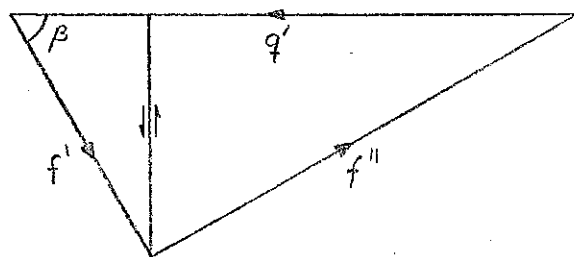


Fig. 4

Vid punkt C ger skivan en horisontell komponent q' , som är motriktad P. Eftersom alla krafter i C anses vara i jämvikt fordras en tredje kraft f'' för att sluta krafttriangeln i fig. 4. Denna kraft måste ha en vertikal komponent som är lika stor som f' :s, och f'' antas vidare vara vinkelrät mot f' . Summan av f' :s och f'' :s horisontella komponenter längs OB blir lika stora som q , och summan av de vertikala komponenterna tar ut varandra.

$$\therefore q' = f' \cos \beta + f'' \sin \beta \quad (5)$$

$$V' - V'' = f' \sin \beta - f'' \cos \beta = 0$$

$$f'' = f' \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = f' \tan \beta \quad (6)$$

f'' från (6) insatt i (5) ger:

$$q' = f' \cos \beta + f' \tan \beta \sin \beta = f' (\cos \beta + \tan \beta \sin \beta) \quad (7)$$

f' från (3) insatt i (7) ger:

$$q' = h' \rho \cdot g \cos \beta \cdot dh (\cos \beta + \tan \beta \sin \beta)$$

Eftersom $P = \sum q'$ längs OB gäller alltså:

$$P = \rho g \cos \beta (\cos \beta + \tan \beta \sin \beta) \int_0^h h' \cdot dh$$

Då $\cos \beta (\cos \beta + \tan \beta \sin \beta) = (\cos^2 \beta + \sin^2 \beta) = 1$

$$\text{erhåller man} \quad P = \rho g \int_0^h h' \cdot dh = \frac{\rho g h^2}{2} \quad (8)$$

P är alltså linjelasten d. v. s. enhetslasten p multiplicerad med isens tjocklek T , d. v. s. $P = pT$.

$$\text{Sålunda är } P = p \cdot T = \frac{\rho g h^2}{2} \Rightarrow h^2 = \frac{2 p T}{\rho \cdot g}$$

$$\text{vilket ger upptorningshöjden } h = \sqrt{\frac{2 p T}{\rho g}}$$

Om man tar hänsyn till friktion fås: f' kan ökas till f'_1 av friktionen, som är motriktad kraften som skjuter upp skivan uppför bröten. Friktionskoefficienten sättes till μ (is mot is, d. v. s. intern friktion i en bröt) och man får

$$f'_1 = w \sin \beta + \mu n' \quad (9)$$

$$f'_1 = \rho g \cos \beta \cdot h' dh + \mu \frac{\rho g \cos}{\tan} \cdot h' dh = \rho g h' dh \cos \beta \left(1 + \frac{\mu}{\tan \beta} \right),$$

$$\text{men } q'_1 = f'_1 \cos \beta + f''_1 \sin \beta \text{ och } f''_1 = f'_1 \tan \beta \quad \text{enl. (5) och (6)}$$

$$\Rightarrow q'_1 = f'_1 \cos \beta + f'_1 \tan \beta \sin \beta = f'_1 (\cos \beta + \tan \beta \sin \beta) \quad (10)$$

f' från (9) insatt i (10) ger:

$$q'_1 = \rho g h' dh \cos \beta \left(1 + \frac{\mu}{\tan \beta} \right) (\cos \beta + \tan \beta \sin \beta), \text{ men}$$

$$\cos \beta (\cos \beta + \tan \beta \sin \beta) = (\cos^2 \beta + \sin^2 \beta) = 1$$

$$\therefore \text{fås } q'_1 = \rho g \left(1 + \frac{\mu}{\tan \beta} \right) h' dh, \text{ vilket ger}$$

$$P = \sum q'_1 = \rho g \left(1 + \frac{\mu}{\tan \beta} \right) \cdot \int_0^h h' dh = \frac{\rho g h^2}{2} \left(1 + \frac{\mu}{\tan \beta} \right)$$

$$P = pT \Rightarrow pT = \frac{\rho g h^2}{2} \left(1 + \frac{\mu}{\tan \beta} \right) \Rightarrow h^2 = \frac{2 p T}{\rho g \left(1 + \frac{\mu}{\tan \beta} \right)}$$

$$\Rightarrow h = \sqrt{\frac{2 p T}{\rho g \left(1 + \frac{\mu}{\tan \beta} \right)}} \quad (11)$$

I formeln ingående storheter är alltså:

h = upptorningshöjden

p = trycket från isen

ρ = isbrötens skrymdensitet

T = isens tjocklek

μ = friktionskoefficienten (is mot is)

β = lutningsvinkeln mellan isbröten och horisontalplanet.

Med hjälp av denna formel kan man alltså beräkna upptorningshöjden om iskraften är känd eller vice versa. Vid betraktandet av formel (11) finner vi att faktorn $(1 + \frac{\mu}{\tan \beta})$ ingår i nämnaren i högerledet. Här är $\mu = \tan \varphi$ där φ betecknar isbrötens rasvinkel. Detta innebär att $\tan \beta \geq \mu$, d.v.s.

faktorn $(1 + \frac{\mu}{\tan \beta}) \geq 2$. Härav följer att $h \leq \sqrt{\frac{2 p_T}{\rho g(1+\mu)}} \Rightarrow h \leq \sqrt{\frac{p_T}{\rho g}}$

4.2 Iskrafterna

De krafter som uppstår då konstruktioner av skilda slag skär genom ett sammanhängande isfält kan uppskattas med hjälp av följande formel, angiven av Korzhavin [7]:

$$H = I \cdot m \cdot K \cdot d \cdot t \cdot \sigma_{CR}, \text{ där}$$

H = horisontalkraften

m = formfaktor = $0,85 \sqrt{\sin \alpha}$, där 2α är föremålets frontvinkel i horisontalplanet

K = relativakontaktytan mellan is och föremål, vanligen = 0,6

d = föremålets diameter

t = föremålets tjocklek

σ_{CR} = isens krosshållfasthet

I = en faktor som tar hänsyn till randeffekterna d.v.s. konstanta krafter som ej beror av föremålets diameter.

I sätts vanligen till $I = (1 + \frac{1,5}{n})$ där

$$n = d/t$$

Man erhåller alltså med värdet på I insatt i formeln:

$$H = (1 + \frac{1,5}{d/t}) \cdot m \cdot K \cdot d \cdot t \cdot \sigma_{CR}$$

$$H = m \cdot K \cdot d \cdot t \cdot \sigma_{CR} + 1,5 t^2 \cdot m \cdot K \cdot \sigma_{CR}$$

Andra termen i uttrycket ovan är alltså nämnda randeffekt och är som synes oberoende av diametern d .

4.3 Modellskalor

När man har fria vattenytor i original och modell dominerar tröghetskrafter och tyngdkrafter. Detta ligger till grund för Froudes modellregel. För att dynamisk likformighet skall gälla skall Froudes tal $F = \sqrt{gL}$ vara lika för modell och verklighet. man erhåller:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{V_m}{\sqrt{g_m L_m}} \quad (1)$$

Enligt Newtons likformighetssats gäller att förhållandet mellan korresponderande längder i original och modell skall vara konstant: $L : L_m = \lambda$ (2)

Vidare skall vattenpartiklarna tillryggalägga olika korresponderande längder på tider som står i konstant förhållande till varandra: $T : T_m = \tau$ (3)

Om (2) och (3) samt $g = g_m$ insättes i (1) erhålles:

$$V/V_m = \sqrt{\lambda} \quad \text{samt} \quad \tau = \sqrt{\lambda}$$

En kraft kan skrivas som

$$P = c_L \cdot \rho \cdot g \cdot L^3 \quad \text{och för modeller som}$$

$$P_m = c_L \cdot \rho_m \cdot g_m \cdot L_m^3$$

Divisionen av dessa uttryck ger $\frac{P}{P_m} = \frac{g L^3}{g_m L_m^3} = \lambda^3$

Vattenföring uttryckes som $\frac{L^3}{T} = \frac{\lambda^3}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda^5}$

Tryck skrives $\frac{P}{L^2} = \frac{\lambda^3}{\lambda^2} = \lambda$

En geometrisk skala på 1: λ resulterar alltså i att:

(modellens längd) x	λ	=	verklig längd
(-"- yta) x	λ^2	=	"- yta
(-"- volym) x	λ^3	=	"- volym
(-"- tid) x	$\sqrt{\lambda}$	=	"- tid
(-"- hastighet x	$\sqrt{\lambda}$	=	"- hastighet
(-"- acceleration) x	1	=	"- acceleration
(-"- vattenföring) x	$\sqrt{\lambda^5}$	=	"- vattenföring
(-"- kraft) x	λ^3	=	"- kraft
(-"- tryck) x	λ	=	"- tryck

4.4 Diskussion över modellisar

Vid modellförsök kan man använda sig av ett flertal material för att simulera is såsom träplattor, paraffin, ja t. o. m. tinade djupfrysta fiskfiléer etc.

Vi valde att använda oss av kvadratiska träplattor med måtten 10 x 10 x 2 cm resp. 5 x 5 x 1 cm.

De egenskaper hos träplattorna som skiljer sig från verklig is är friktion mellan plattorna samt mellan platta och föremål, densitet, krosshållfasthet

samt det faktum att modellisen har en bestämd form och storlek.

Friktionskoefficienten för träplatta mot träplatta bestämdes till ca. 1.4 medan is mot is ger en friktionskoefficient av ca. 0.25.

Plattornas densitet var ca. 600 kg/m^3 , d.v.s. mindre än isens täthet som är ca. 900 kg/m^3 . Krosshållfastheten för verklig is motsvaras hos modellisen av den belastning vilken orsakar en övergripande omlagring av träplattorna. Detta fenomen kallar vi i fortsättningen knäckning.

När ett verkligt istäcke krossas mot ett föremål sönderdelas det i ett antal olikformiga isflak. Användandet av kvadratiska träplattor innebär att dessa "isflak" alla blir identiska.

Samtliga ovanstående avvikelser torde dock vara acceptabla eftersom man känner till deras verkningar och därför kan vidtaga erforderliga kompensationer.

5. FÖRSÖKSANORDNING

5.1 Princip för experimenten

Målsättningen är att med hjälp av modellförsök efterlikna verkliga isförhållanden kring ett fyrtorn. Av intresse är då att kunna bestämma de krafter som verkar på ett fyrtorn samt att få en uppfattning om isens upptorningshöjd. För att på ett praktiskt sätt kunna mäta dessa storheter valdes principen att utnyttja sig av ett stillaliggande modellistäcke och en rörlig modellfyr, vilken pressas in i istäcket.

5.2 Beskrivning av försöksanordning

Försöken utfördes i en ränna med dimensionerna 3 x 12 m i vattenbyggnadslaboratoriet vid Chalmers Tekniska Högskola.

Ovanpå rännans väggar är spår monterade, på vilka en vagn löper. Vagnen är försedd med en steglöst reglerbar elektrisk motor och kan således föras fram i rännans längsriktning med önskad hastighet.

Ett bärverk uppbyggt av stålrör anbringades på vagnen. Avsikten var att med hjälp av detta upptaga de krafter som uppkom under försökets gång. Bärverket utrustades därför även med två kraftgivare. Den ena (F_1) angav totalkraft och den andra (F_2) gav i samband med F_1 angreppskraftens hävarm x enligt fig. 5. De båda kraftgivarna kopplades via var sin mätbrygga till en skrivare, där båda krafterna registrerades.

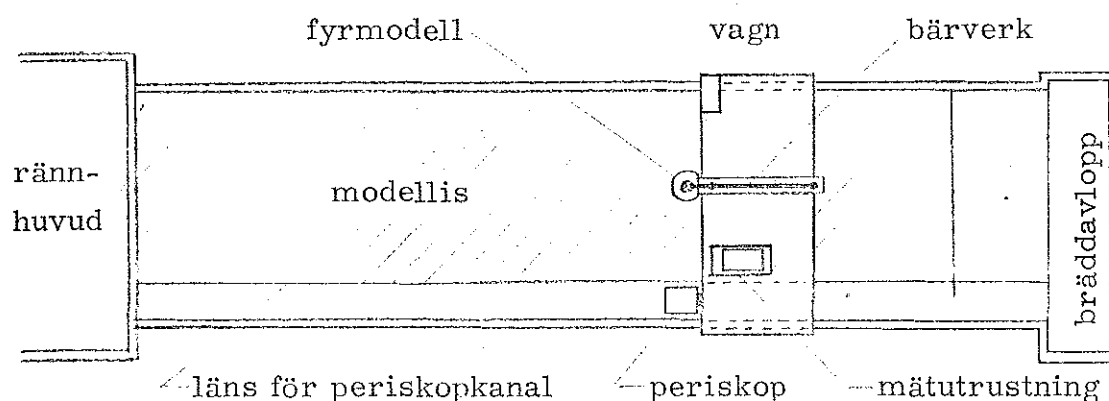


Fig. 5 Plan av rännan, skala 1:100

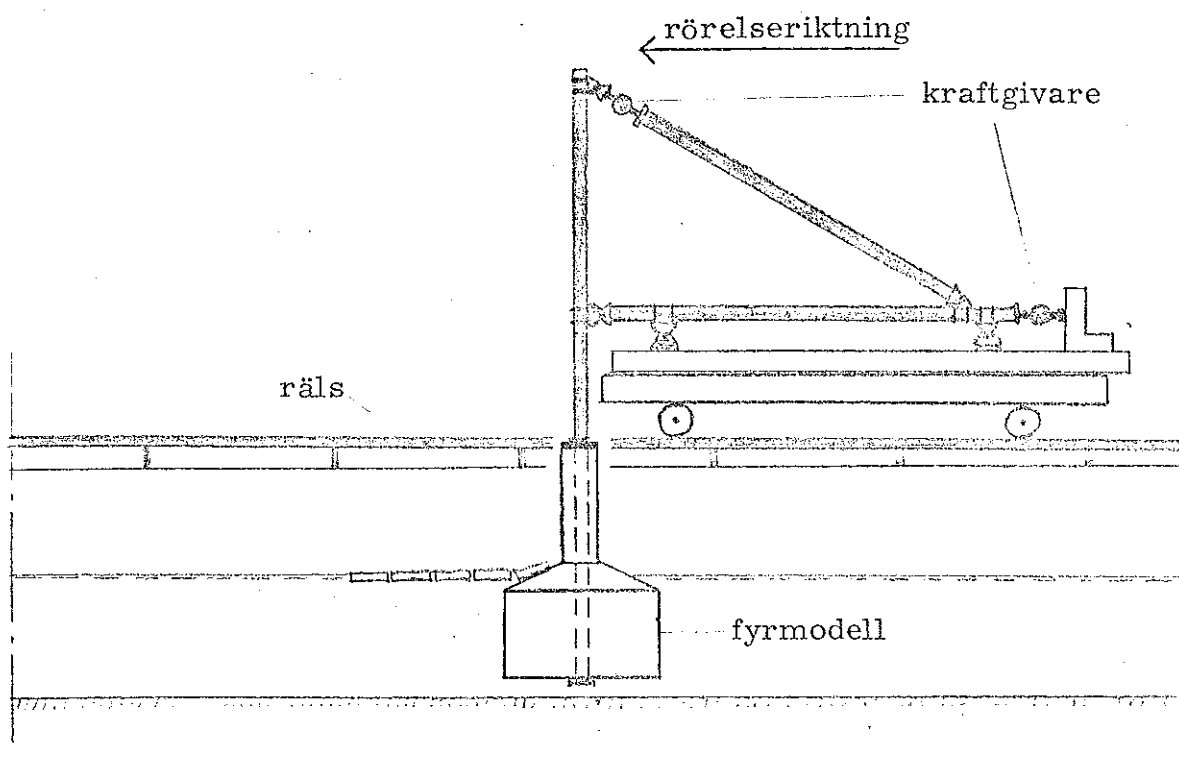


Fig.6 Elevation av vagnen, bärverket och fyrmodellen, skala 1:20.

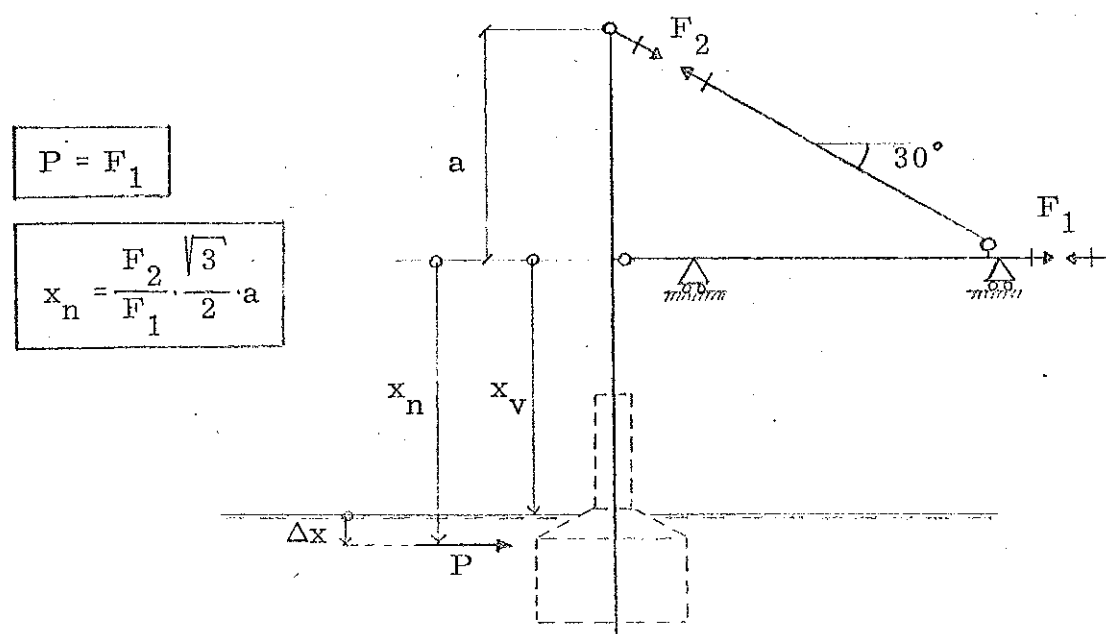


Fig.7 Statisk modell av bärverket, skala 1:20.

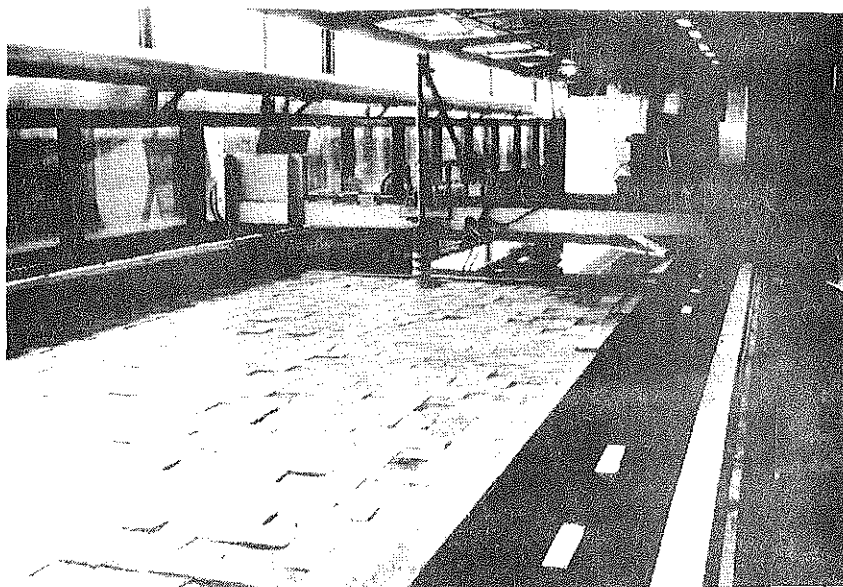


Fig. 8 Rännan och den vid vagnen monterade fyren. I förgrunden parkettpackad modellis genom vilken fyren skall föras. I kanalen till höger löper ett vid vagnen fäst periskop vilket möjliggör kontinuerlig observation av isens nedpressning.

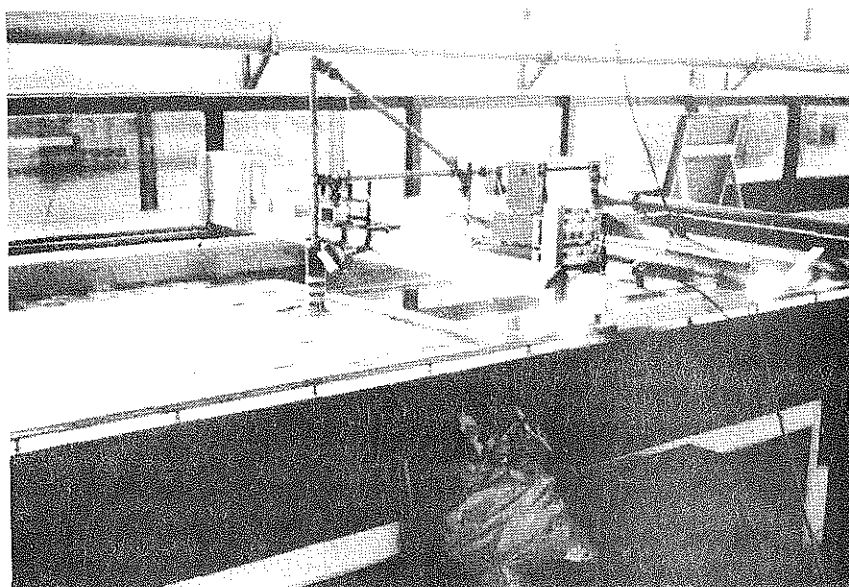


Fig. 9 Rännan från sidan. På bilden syns bärverket som fyren är upphängd i. I förgrunden återfinns mätbryggor och skrivare.

5.3 Fyrtyper (vik ut figurbilagan)

De fyrmodeller som användes hängdes upp i det på vagnen monterade bärverket och kunde alltså bringas i rörelse mot ett stillaliggande "istäcke" av träplattor.

Tre olika fyrtyper, A, B och C, användes och genom att variera vattenståndet i rännan erhöles ett flertal alternativ. Under försöksseriens gång fann vi det lämpligt att införa ytterligare en variant som vi kallade A2 med botteninverkan. Som en kuriositet gjordes även ett försök med typ A2 "inverterad", varvid som väntat en markant nedpressning av "isen" erhöles.

5.4 Modellskala

Modellens dimensioner valdes så stora som möjligt. På grund av rännans begränsade mått bestämdes fyrmodellernas maximala diameter till 40 cm. Användandet av en större modell skulle ha medfört att inverkan från rännans sidor blivit betydande.

För att bestämma fyrmodellernas skala inhämtades uppgifter om de största svenska kassunfyrarnas dimensioner. Dessa uppgifter hämtades bl.a. från [4]

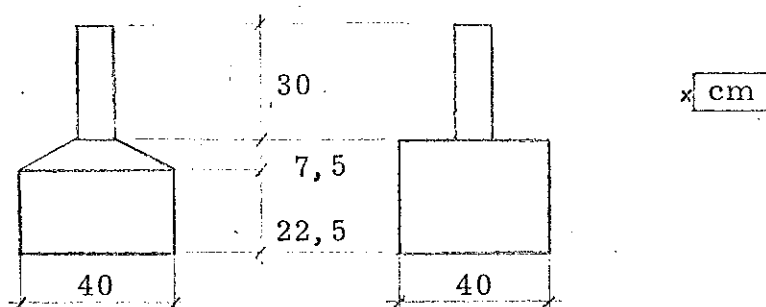


Fig.10 Exempel på fyrmodeller

Vi fann att storleksordningen på kassunernas diameter var ca. 20 m. Modellskalan blev alltså i vårt fall $0,40/20 = 1:50$.

5.5 Val av deformationshastighet

Vagnhastigheten bestämdes av det förhållandet att drivande is, som sammanstöter med ett hinder, t. ex. en fyr, kan ha en hastighet uppgående till mellan 0.3 och 1.5 m/s, se [6].

Eftersom vår modellskala var 1:50 fick vi alltså den skalenliga hastighet som vagnen skulle framföras med till $1:\sqrt{50}$ av den verkliga ishastigheten. Detta leder till en vagnhastighet varierande mellan 4 och 21 cm/s. Vid provkörning av fyren i "isfri" ränna påvisades vid de högre hastigheterna en störande bogvåg vilken skulle kunna påverka isens angreppsvinkel mot fyren.

De flesta försöken utfördes sålunda med en vagnhastighet av 4 cm/s. Kompletterande försök gjordes även med högre resp. lägre hastighet för att söka utröna effekten härav.

5.6 Beskrivning av istäcket.

För att på ett praktiskt sätt efterlikna verkliga isförhållanden användes två olika typer av träplattor med måtten 10 x 10 x 2 cm resp. 5 x 5 x 1 cm. Istäcket karakteriseras av packningsgraden som är ett mått på den relativa ytbeläggningen. Packningsgraden definieras som summan av de använda träplattornas ytmått, dividerat med den utnyttjade rännans yta, gånger 100. Den största packningsgrad som kan uppnås om plattorna packas intill varandra som rutorna på ett schackbräde blir enl. def. ovan något mindre än 100 %. Ojämnheter i plattornas kanter är orsaken till detta. Vi ansätter dock denna till 100 % av praktiska skäl. Då antalet träplattor var konstant och endast den utnyttjade delen av rännan varierades, bestämmes packningsgraden genom att dividera disponerad vattenyta vid 100 % med motsvarande yta vid det aktuella försöket.

De tre förekommande packningssätten definieras här nedan:

Typ I "parkettpackning": Plattorna ligger kant i kant och bildar en slät yta.

Packningsgrad = 100 %

Typ II, "drivispackning": Plattorna ligger intill varandra och bildar en slät yta, men är ej ordnade.

Packningsgrad < 100 %

Typ III, "packispackning": Plattorna ligger fullständigt ordnade, på och omkring varandra.

Packningsgrad > 100 %.

De stora träplattorna ordnades på samtliga ovanstående sätt. Då det visade sig omöjligt att parkettpacka de små träplattorna användes dessa enbart vid drivis- och packisförsök.

Utläggningen av plattorna gjordes för hand enl. ovanstående i den vattenfyllda rännan. En läns vid rännans kortsida användes för att pressa samman istäcket till önskad packningsgrad.

6. KRAFTMÄTNINGEN.

6.1 Kalibrering av givare och skrivare.

Kraftgivarna är av typ KRG-4 och tillverkas av Bofors. De är avsedda för en belastning av 0-2000 N. I detta intervall är givarna linjära, vilket innebär att en fördubbling av kraften ger en fördubbling av utslaget.

För att kalibrera givarna samt kontrollera lineariteten använde vi oss av vikter, som placerades på givarna. Överensstämmelsen visade sig vara mycket god.

Därefter kalibrerades skrivaren i förhållande till förstärkarna.

6.2 Kontroll av bärverket med hjälp av dynamometer.

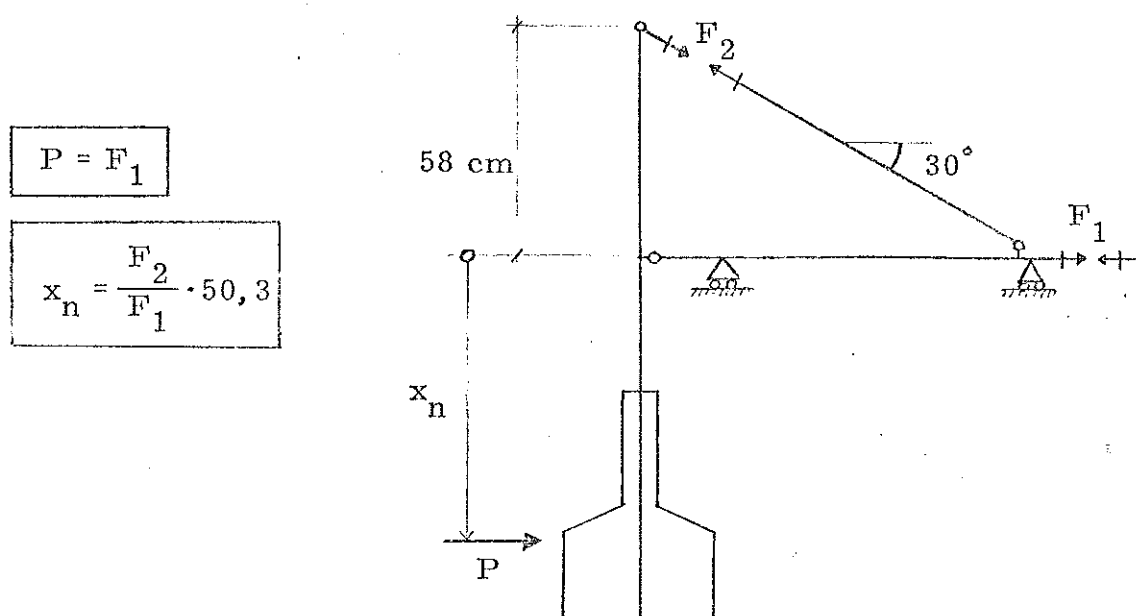


Fig.11 Statisk modell av bärverket, skala 1:20

För att undersöka hur bärverket, som fyrmodellen var fastsatt på, fungerade, belastades fyrmodellen med hjälp av en dynamometer, se fig.11. Belastningarna skedde på olika nivåer. Både totalkraft och hävarm beräknades. Vissa avvikelser noterades, nämligen att den registrerade kraften F_1 ej uppnådde det förväntade värdet. Efter avslutad belastning erhöles

en restkraft. Om bärverket istället utsattes för en vibrerande last som varierade kring den förväntade erhöles bättre överensstämmelse. Orsaken till de noterade avvikelserna måste ha varit friktionen i bärverkets pendelpelare.

Då avvikelserna kunde uppgå till 10 N blir felet stort vid små krafter och därmed även vid bestämningen av hävarmslängden. Den senare kan därför inte anses tillförlitlig. Med formeln $x = 50,3 \frac{F_2}{F_1}$ fås alltså enligt ovanstående för stora värden på x .

Vidare utfördes ett antal försök med enbart vatten i rännan för att utröna hur stora strömningskrafter som uppstod. Dessa krafter visade sig dock vara försumbara.

7. FÖRSÖKSUTFÖRANDE

Vid förberedandet av försöken lades träplattorna ut på något av de sätt, som beskrivs under punkt 5. 6

Rännans bredd var ca. 3 m. Det innebar att vi fick plats med 28 träplattor 10 x 10 cm på bredden. Eftersom vi använde 2268 st fick vi alltså 81 rader på längden. Dessa upptog en längd av 8,45 m. Längden 8,45 m motsvarade således 100% packningsgrad (parkettpackning)..

Vid drivispackning fick vi exempelvis en rännlängd av 10 m. Detta gav då en packningsgrad av $8,45/10 = 84,5\%$.

Mätapparaturen nollställdes, skrivaren slogs på och vagnen startades. Under försökets gång jämfördes isens rörelser med skrivarens utslag. I samband härmed noterades isens upptorningshöjd.

Efter avslutat försök mättes isens nedpressning under vattenytan.

För att kunna studera isens nedpressning även under försökets gång, tillverkade vi ett enkelt periskop, som monterades på vagnen.

Övrig dokumentation skedde medelst fotografering. Ett försök filmades med institutionens filmkamera. Inspelningen gjordes med en bildhastighet av 72 bilder/sek. Med modellskalan 1:50 erhålles tidsskalan till $1:\sqrt{50} = 1:7$. Uppspelningen av filmen skall alltså ske med 10 bilder/sek. för att ge en verklighetstrogen bild av isskruvningen.

Innan försöken påbörjades valde vi ut fem träplattor av den stora sorten. Deras densitet beräknades. Medelvärdet av de fem blev 470 kg/m^3 .

Efter ett dygn i vatten uppgick densiteten till 550 kg/m^3 . Kontinuerliga mätningar visade att densiteten vid försökdsens slut hade ökat till 650 kg/m^3 .

8. MÄTRESULTAT

8.1 Tabeller över mätvärden och framräknade storheter.

De utförda försöken redovisas i tabellform nedan. I tabellhuvudet använda beteckningar svarar mot följande:

$P_{\max} \dots P_5$	= de fem största i ordning kommande krafterna (N)
$x_1 \dots x_5$	= de mot krafterna svarande hävarmarna enl, fig. 7
x_{vatten}	= hävarmens längd till vattenytan (cm)
Δx_{medel}	= avståndet från vattenytan ned till de angripande is- krafternas resultant, baserad på medelvärdet av $x_1 \dots x_5$ (cm)
Δx_{korrr}	= avståndet från vattenytan ned till de angripande is- krafternas resultant, baserad på felberäkning enl, punkt 8.2 (cm)
Upptorn	= maximal upptorning över vattenytan (cm)
Nedpress	= maximal nedpressning under vattenytan (cm)
Δx_{trolig}	= avståndet från vattenytan ned till de angripande is- krafternas resultant, baserad på iakttagelser av upp- torning och nedpressning (cm).
Kraftperiod	= den sträcka fyrmodellen förflyttar sig mellan varje större kraftangrepp (cm)
>	i en kolumn innebär att skrivarens mätområde överskridits
—	i en " " att inget adekvat mätvärde erhållits

Understrykning av värdet på upptorning eller nedpressning innebär att detta värde är högsta resp. lägsta gräns för kraftangrepp från bröten och att nedpressningen är noggrant observerad med hjälp av periskop.

Fyrtyp	packn- grad %	försök nr	P _{max}	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x _{vatten}	Δx _{med}	Δx _{korrr}	upp- torn	ned- press	Δx _{trol}	kraft- period
A2	100	4	80	70	70	65	63	88	88	81	85	77	67	17	11±6	15	-	4	52
	100	13	60	57	56	55	54	82	85	76	80	72	67	12	5±7	15	10	4	55
	100	14	60	58	57	53	53	67	78	84	92	77	67	13	6±7	15	10	4	52
	100	30	90	79	73	67	58	73	63	79	70	81	67	6	1±5	5	9	4	60
	90	3	36	36	32	31	29	74	74	77	60	69	67	4	-2±6	15	-	4	40
	88	1	30	30	29	25	25	77	72	68	75	75	67	6	-1±7	15	-	4	40
	84	16	29	25	24	24	24	85	75	75	73	84	67	11	4±8	10	5	4	34
	80	2	27	22	22	19	18	76	85	87	71	75	67	12	3±9	15	-	4	36
	75	19	35	33	18	17	16	68	73	67	68	72	67	3	-5±8	10	5	4	40
	154	24	35	35	34	34	31	85	79	83	77	86	67	15	9±6	10	10	4	31
A1	100	5	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	53	-	-	10	-	1	43
	100	6	145	140	98	82	59	52	52	53	54	58	53	1	-2±3	10	-	1	51
	100	31	147	87	66	64	43	63	57	57	58	58	53	6	3±4	5	10	1	46
	85	17	115	89	79	38	36	56	58	56	59	61	53	5	1±4	10	5	1	41
	154	25	26	26	26	24	22	61	64	56	55	60	53	6	0±6	10	10	1	36
A 1,5	100	33	103	60	58	42	41	63	73	67	65	76	61	8	3±6	7	7	2	44
A2 ⁰ botteninv	100	32	50	24	23	-	-	93	84	87	-	-	67	21	14±7	10	4	-	-
A2 invert	100	15	57	54	39	32	30	75	79	71	71	75	61	13	9±4	5	12	2	-

Fyrtyp	packn- grad %	försök nr	P _{max}	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x _{vatten}	Δx _{med}	Δx _{korrr}	upp- torn	ned- press	Δx _{trol}	kraft- period
A3	100	7	400	159	94	84	80	>	83	80	85	83	74	9	7±3	10	10	2	52
hög hast	100	8	179	165	132	132	107	83	80	83	83	83	74	8	5±3	10	10	2	94
låg hast	100	9	279	152	80	67	61	>	82	90	87	87	74	13	10±4	10	12	2	51
	100	29	175	86	83	77	73	79	85	84	80	87	74	9	5±4	3,5	7	2	56
	85	18	68	68	66	58	56	82	-86	82	88	85	74	11	5±7	10	10	2	63
	154	23	44	41	40	37	35	81	81	83	80	90	74	9	4±6	10	15	2	30
B1	100	10	155	77	56	56	54	>	63	66	68	72	59	8	4±4	15	10	4	41
	152	22	24	23	20	20	20	65	68	66	74	74	59	10	2±8	20	15	4	33
B2	100	11	112	101	100	92	81	78	70	67	72	64	63	7	4±4	12	12	3	80
	83	20	39	39	36	33	33	74	88	75	73	76	63	14	9±6	10	10	3	83
	143	21	51	50	44	37	35	73	70	71	69	72	63	8	4±4	15	15	3	34
C1	100	12	130	115	108	99	97		68	85	73	85	74	4	1±4	10	10	1	88
små träplattor	A2	84	26	5	4	3	3	3	-	-	-	-	67	-	-	6	6	2	16
	A3	84	27	4	3	3	3	3	-	-	-	-	74	-	-	5	6	2	16
	A3	190	28	10	10	9	8	8	-	-	-	-	74	-	-	3,5	7	2	-

8.2 Feluppskattning

Som förut nämnts (punkt 6.2) blir våra värden på hävarmen x för stora. För att teoretiskt göra en uppskattning av felet i x gjorde vi på följande sätt:

Enl. punkt 5.2 fås x ur ekvationen

$$x = 50,3 \cdot \frac{F_2}{F_1} \quad (1)$$

I denna ekvation är det den uppmätta kraften F som är något för liten. Partiell derivering m. a. p. F_1 ger:

$$\frac{\partial x}{\partial F_1} = -50,3 \cdot \frac{F_2}{F_1^2} \quad (2)$$

Insättning av x från (1) ger:

$$\frac{\partial x}{\partial F_1} = -\frac{x}{F_1} \Rightarrow \Delta x = -\frac{x}{F_1} \Delta F_1$$

Δx representerar alltså felet i x och ΔF_1 är det största felet som kan tänkas uppträda i F_1

Vid denna feluppskattning använde vi oss av följande värden:

$$F_1 = P = \text{medelvärde av } P_1, P_2, P_3, P_4 \text{ och } P_5$$

Om detta medelvärde låg över 50 N ansattes ΔF_1 till 10 N. Om medelvärde var < 50 N ansattes ΔF_1 till 5 N.

$$x = \text{medelvärde av } x_1, x_2, x_3, x_4 \text{ och } x_5$$

Exempel:

Fyrtyp A2, försök nr 4

$$F_1 = 70 \text{ N}$$

$$x = 67 + 17 = 84 \text{ cm} \quad (x_{\text{vatten}} + \Delta x_{\text{medel}})$$

$$\Delta F_1 = 10 \text{ N}$$

$$\Delta x = -\frac{84}{70} \cdot 10 = 12 \text{ cm}$$

Eftersom felet är enkelsidigt (alltid för stora värden på x) fås

$$17 - 12 \leq \Delta x_{\text{korrig}} \leq 17, \text{ dvs. } \Delta x_{\text{korrig}} = 11 \pm 6 \text{ cm}$$

Ovanstående beräkningsschema har använts för samtliga försök och resultaten redovisas i tabellen under punkt 8.1.

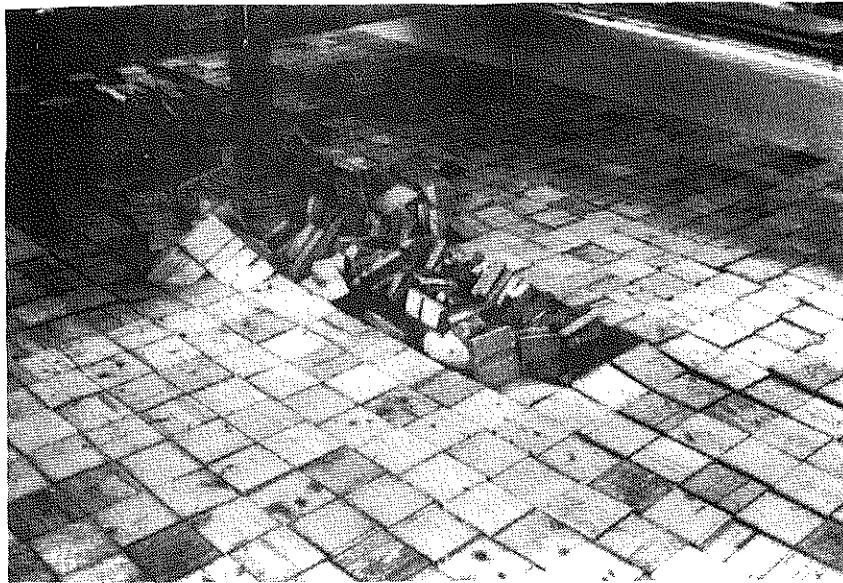


Fig.12 Försök 7. Fyrmodell A3 utsatt för parkett-
packad modellis.



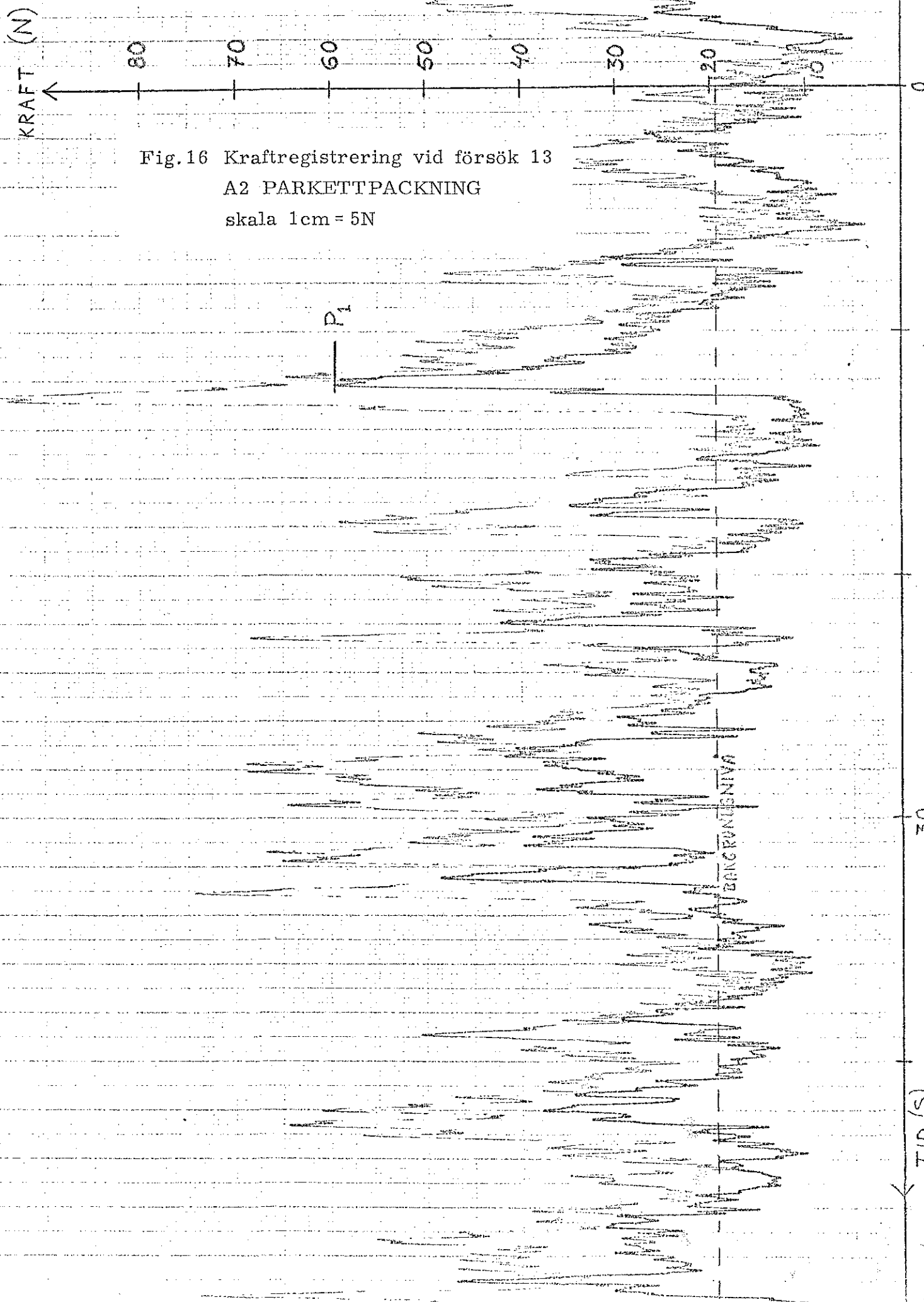
Fig.13 Försök 16. Fyrmodell A2 utsatt för modellis
av drivistyp.



Fig.14 Försök 18. Fyrmodell A3 utsatt för modellis av drivistyp.



Fig.15 Försök 23. Fyrmodell A3 utsatt för modellis av packistyp.



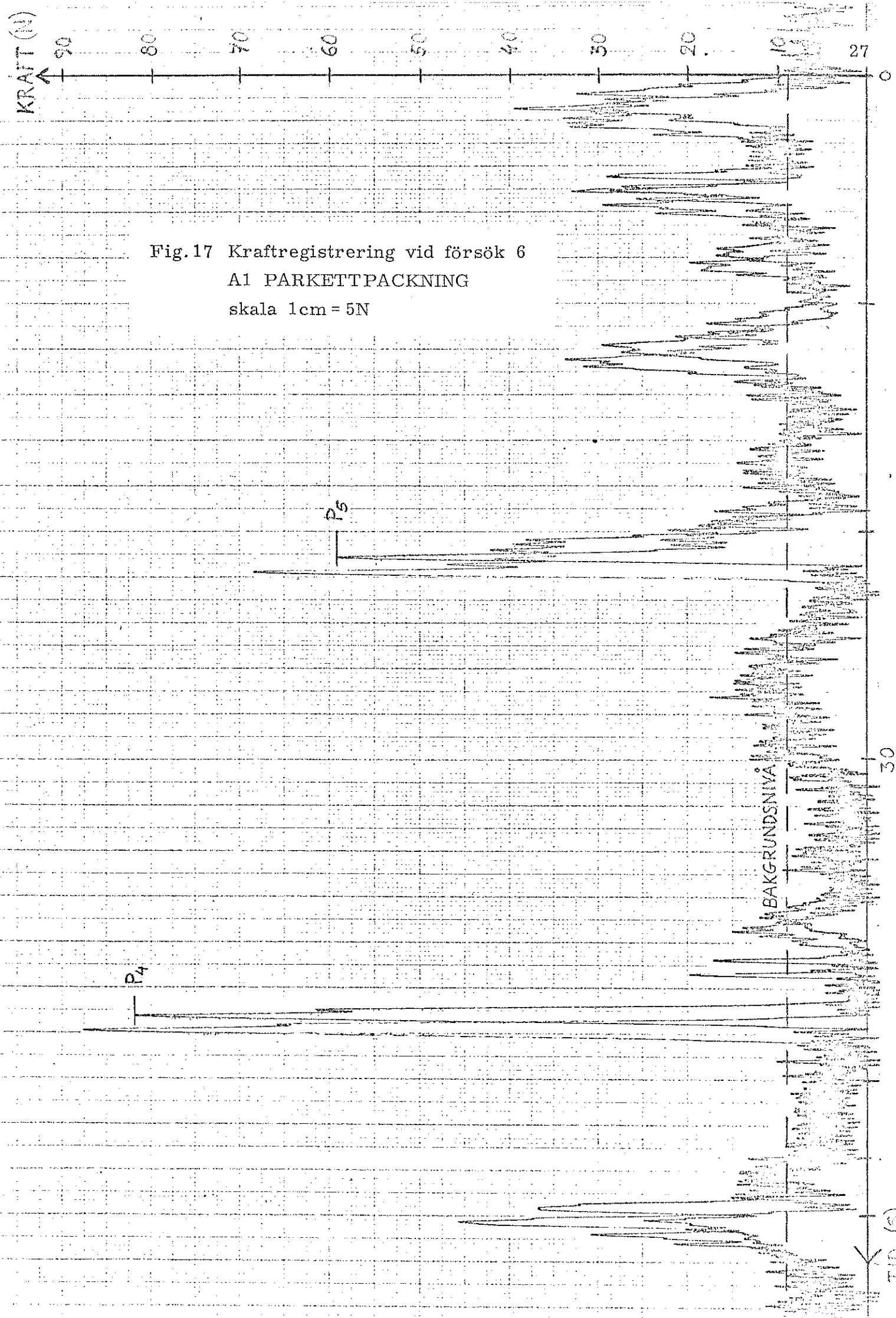


Fig.17 Kraftregistrering vid försök 6
A1 PARKETTPACKNING
skala 1cm = 5N

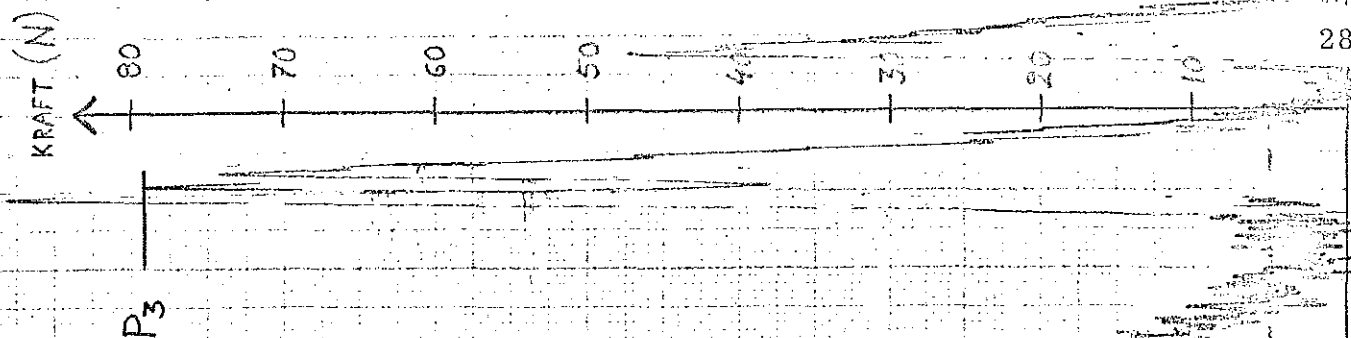


Fig.18 Kraftregistrering vid försök 17
A1 DRIVISPACKNING
skala 1cm = 5N

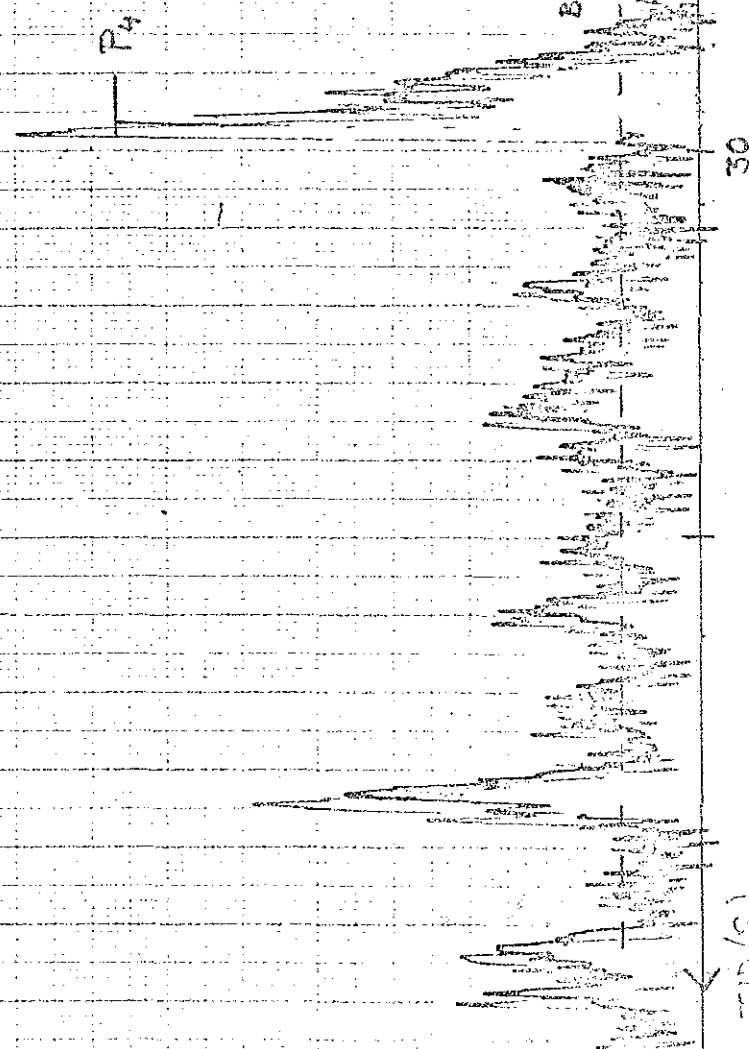


Fig.19 Kraftregistrering vid försök 25
 A1 PACKISPACKNING
 skala 1cm = 5N

KRAFT (N)

40

30

20

10

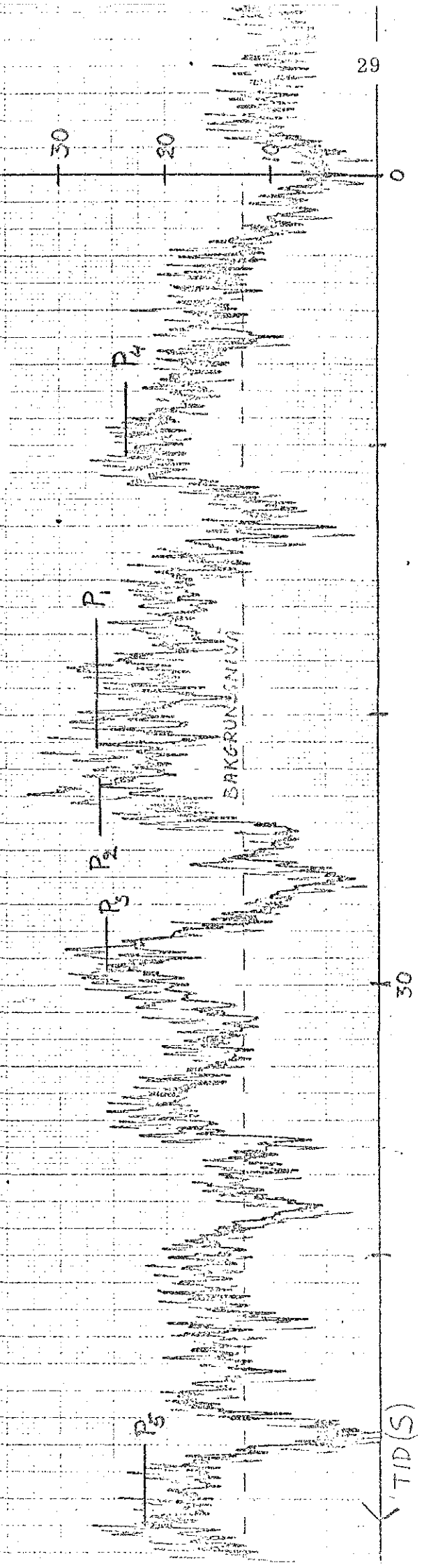
0

P₄P₁P₂P₃

SÄKGRUNDEN

30

TID (S)



KRAFT (N)

150

100

50

30

0

P5

Fig.20 Kraftregistrering vid försök 7
A3 PARKETTPACKNING
skala 1cm = 12,5 N

30

TID(S)

PARKETTPACKNING

Fig.21 Kraftregistrering vid försök 23
A3 PACKISPACKNING
skala 1cm = 12,5 N

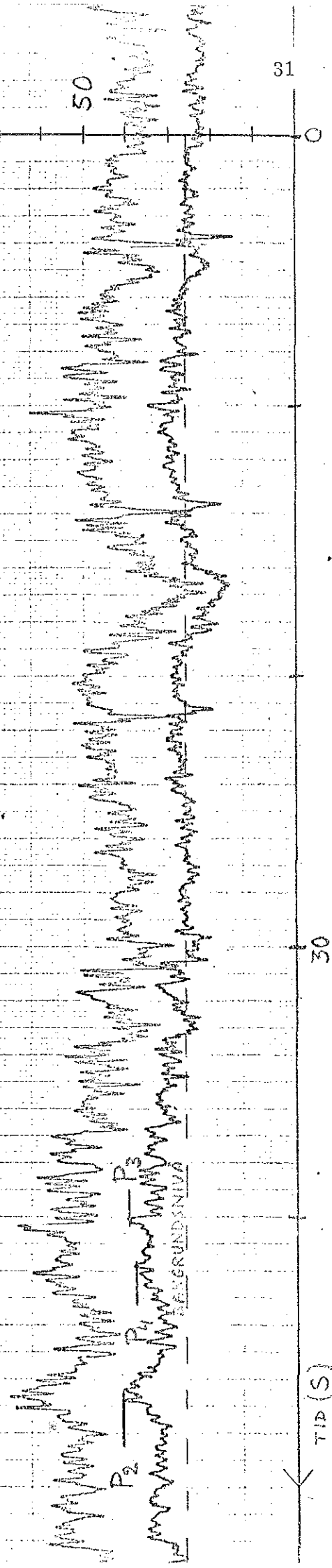
KRAFT (N)

100

50

0

31



9. UTVÄRDERING AV MÄTRESULTAT

9.1 Allmänt om de olika istyperna.

Vid betraktandet av skrivardiagrammen märker man en klar skillnad mellan å ena sidan parkett- och drivispackning och å andra sidan packispackning. Av skillnaden att döma är krafterna på fyrarna sammansatta av två element. Vid packispackning erhålles endast brötkrafter medan man vid parkett- och drivispackning erhåller dels brötkrafter (bakgrundskrafter) och dels på dessa överlagrade knäckkrafter.

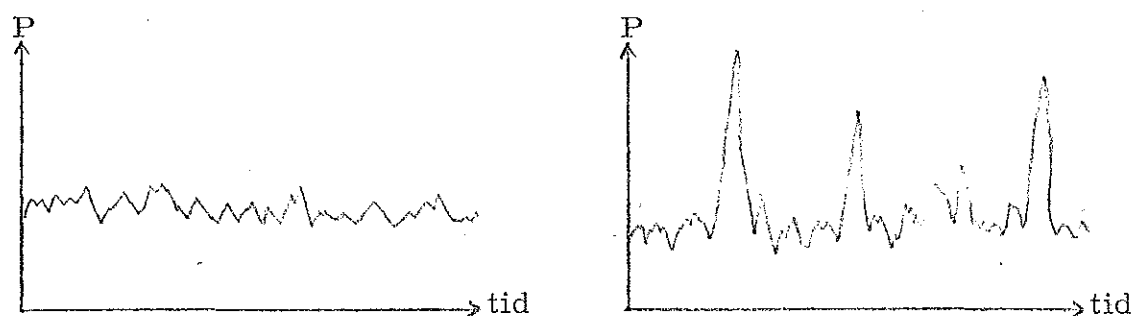


Fig. 22 Jämförelse mellan kraftdiagrammen vid packis resp. parkettispackning.

Med knäckkrafter menas de krafter som uppstår, då ett helt plant "istäcke" knäcker ut. Detta kan ske mot en vertikal yta hos fyrmodellen (direkt knäckning) eller bortom en vid fyren bildad bröte (indirekt knäckning). Brötkrafter å andra sidan är de krafter som erhålles när en isbröt pressas mot fyren.

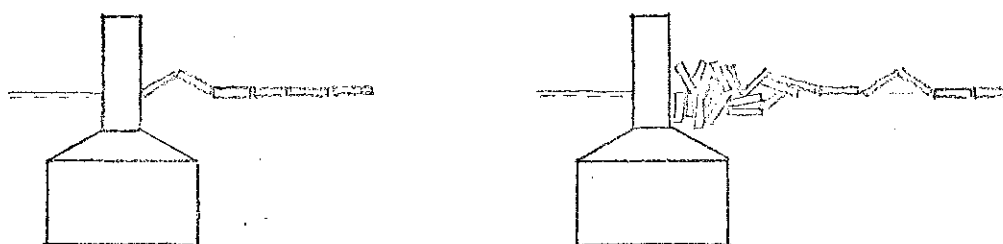


Fig. 23 Jämförelse av modellens uppträdande vid direkt och indirekt knäckning.

De största krafterna erhålles vid direkt knäckning medan de vid indirekt knäckning blir mindre. Vid parkettpackning kan i försökets början mycket stora krafter uppkomma, beroende på att här sker en direkt knäckning som är helt utan störning. De under försökets gång uppkomna knäckkrafterna är företrädesvis av indirekt karaktär.

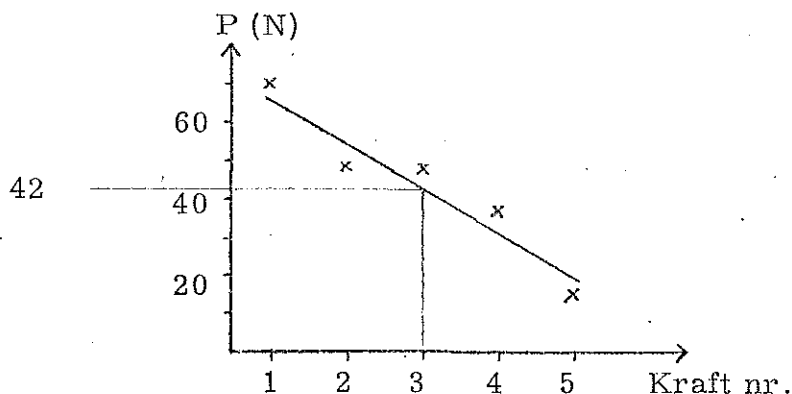
Brötkrafternas storlek vid parkettpackning överensstämmer i stort med de vid packispackning. Vid drivispackning däremot blir brötkrafterna mindre beroende på att "istäcket" här har större möjlighet att flyta runt fyren.

9.2 Istypens inverkan, sammanställt i diagramform.

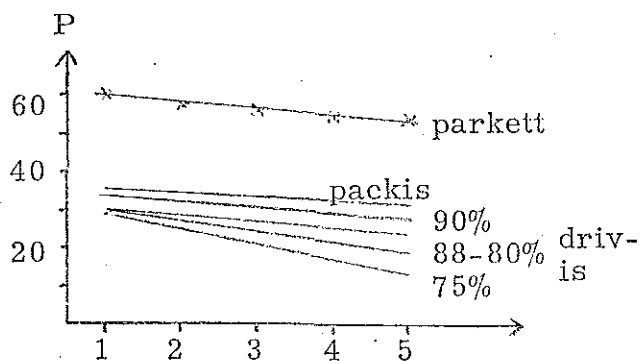
Kraftdiagrammen utvisar de fem största krafternas storlek vid olika fyrtyper och istyper. Bestämning av kraftstorleksordning utföres enligt nedanstående figur.

<u>Fyrtyp</u>	<u>Kraftstorleksordning (N)</u>	<u>Diagram</u>
---------------	---------------------------------	----------------

Ex



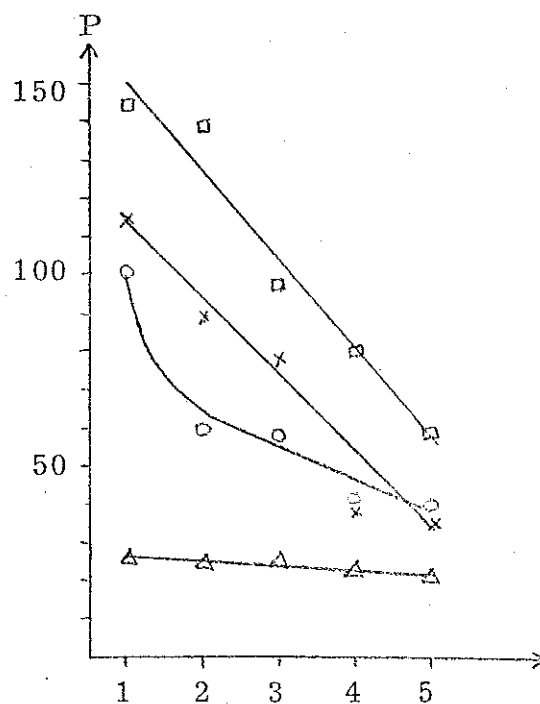
A2	Parkett	56
	Drivis	25
	Packis	35



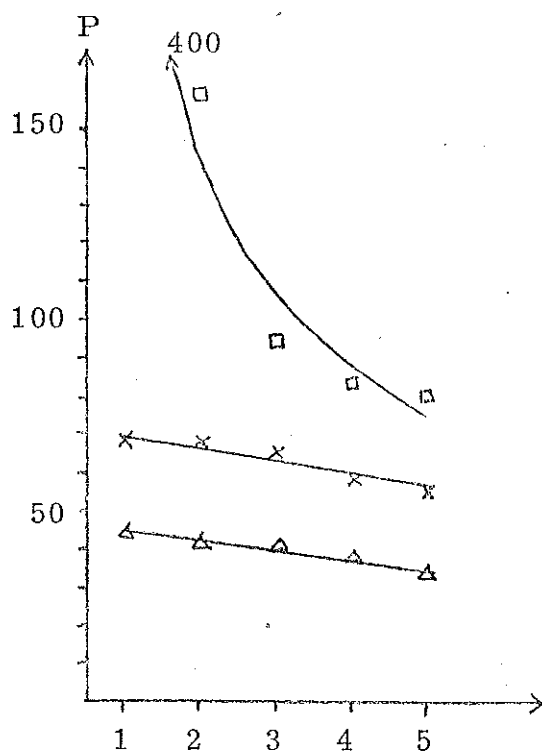
FyrtypKraftstorleksordning (N)Diagram

A1	Parkett	105	□
	Drivis	75	×
	Packis	25	△

A1,5	Parkett	56	○
------	---------	----	---



A3	Parkett	110	□
	Drivis	65	×
	Packis	40	△



FyrtyypKraftstorleksordning (N)Diagram

B1

Parkett

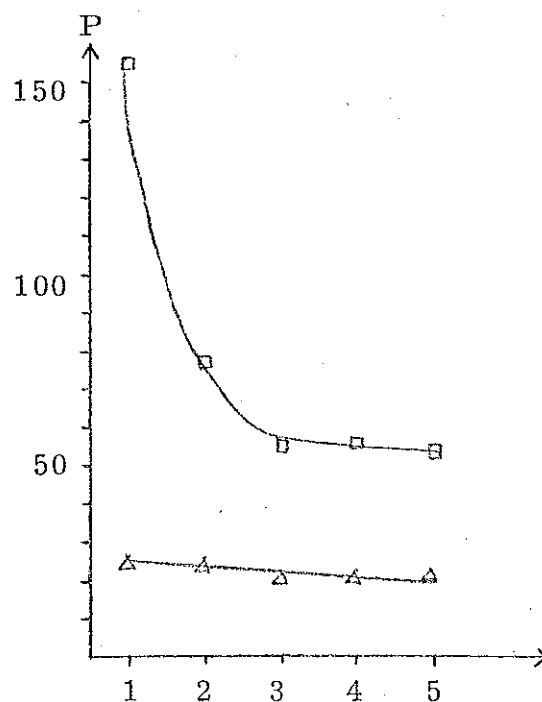
58

□

Packis

22

△



B2

Parkett

97

□

Drivis

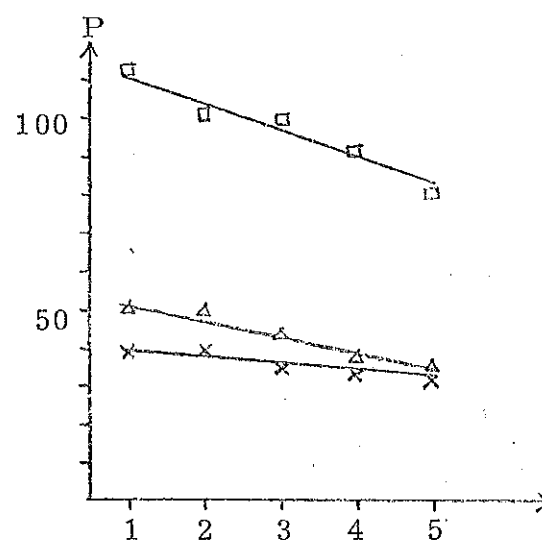
35

×

Packis

45

△

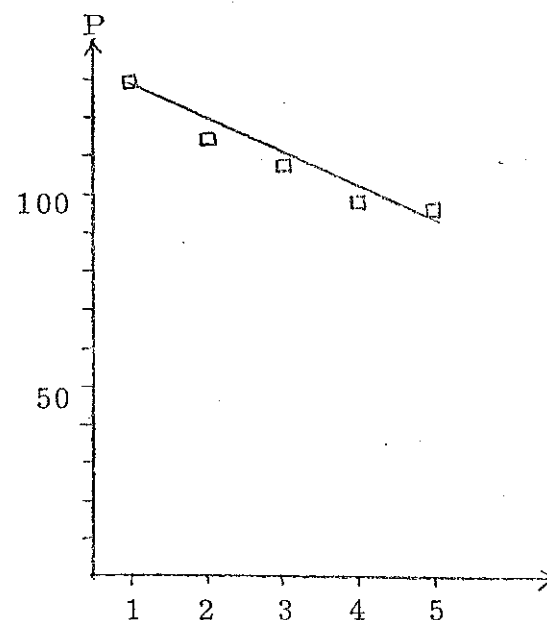


C1

Parkett

110

□



9.3 Kommentarer till kraftdiagrammen.

Vid parkettpackning erhålles väsentligt större krafter än vid packispackning, speciellt vid fyrtyperna med vertikala väggar. Variationerna i krafternas storlek beror på det tidigare behandlade knäckningsfenomenet, som uppträder slumpvis. Detta bekräftas av de lutande kraftdiagrammen.

Vid packisförsöken är kraftdiagrammen genomgående av horisontell karaktär, d. v. s. de största krafterna är ungefär lika stora.

Resonemanget i de två ovanstående styckena tycks gälla även för jämförelsen drivis-packis.

För fyrar med sluttande fyrsidor (A2) blir krafterna mindre än för de med vertikala sidor (A1, A3), d. v. s. knäckningsfenomenet är ej så uttalat. Detta bekräftas av att kraftdiagrammet har liten lutning.

Vid fyrtypen A3 uppstår vid parkett- och drivispackning knäckningsfenomenet. Trots att A3 har 4 ggr så stor exponeringsyta i vattenlinjen som A1, blir knäckkrafterna endast obetydligt större. Detta beror på att endast en rad träplattor knäcker åt gången, vilket i sin tur innebär att förekomsten av knäckkrafter är större vid A3 än A1.

Knäckningen blir mindre uttalad vid B2, eftersom träplattorna utsätts för en störning p. g. a. att vattenytan är belägen omedelbart ovanför kassunen. Packiskrafterna blir dock i stort sett lika stora som för A3.

Förekomsten av knäckkrafter är mindre även för A 1.5 och B1, vars kassuner ligger något djupare än B2:s. Detta är speciellt märkbart för A1.5 som både beträffande sin utformning samt de angripande krafternas karaktär intar en mellanställning mellan A1 och A2.

För fyrtyp A2 gäller enligt föregående att krafterna vid parkettpackning blir mindre än vid A3. Även packiskrafterna blir här något mindre. Detta tycks bero på en mindre exponeringsyta i vattenlinjen. Denna trend gäller också för A1 och B1, som har en avsevärt mindre exponeringsyta i vattenlinjen än de andra. Vid dessa fyrtyper erhålls alltså lägre packiskrafter.

Beträffande packiskrafternas storlek gäller alltså ett klart samband mellan dessa och fyrens exponeringsyta i vattenlinjen. Sambandet är dock ej direkt proportionellt beroende på de tillkommande randeffekterna. Dessa randeffekter behandlas i [7]. Följande medelkrafter uppnåddes:

A 1 :	ca. 23 N	diam. i v.l.	10 cm
A 2 :	ca. 34 N		24 cm
A 3 :	ca. 40 N		40 cm

Vid försök utförda med de små träplattorna, 5 x 5 x 1 cm, erhöles mycket små krafter. Dessa låg i intervallet 0 - 10 N, som är avsevärt mindre än vid de stora träplattorna. Därför måste små isflak anses mindre farliga med avseende på iskrafternas storlek. Vi genomförde följaktligen bara ett fåtal försök med dessa träplattor.

9.4 Upptorning och nedpressning samt dess inverkan på hävarmens längd.

De värden på hävarmens längd som mätapparaturen ger är som tidigare behandlats något för stora. Isens upptorning resp. nedpressning ligger därför till grund för uppskattandet av kraftresultantens angreppspunkt.

Vid en vertikal kontaktyta mot träplattorna noterades en fri fördelning av dessa i höjddled, som ungefärligen underordnade sig plattornas densitet. Eftersom denna låg i intervallet 550 - 650 kg/m³ angriper resultanten något under vattenlinjen. Detta förhållande gäller för A1 och C1.

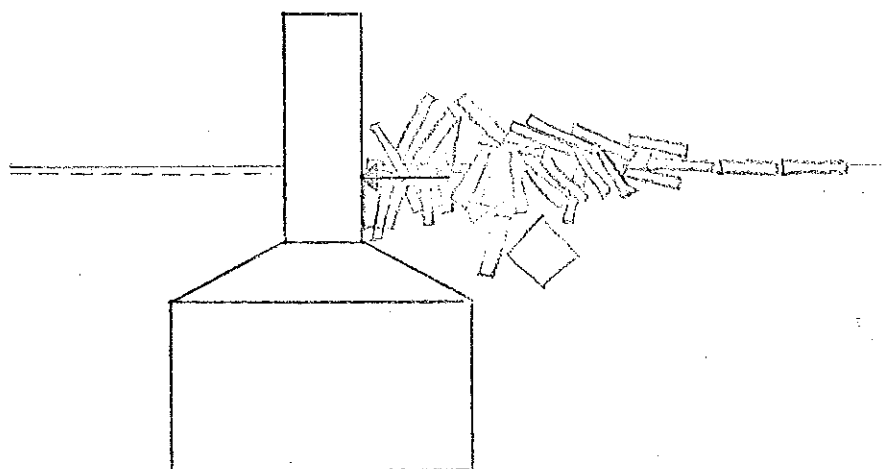


Fig.24 Isens brötbildning mot fyrtyp A1.

Den fördelning isangreppet får vid A3 karakteriseras av avsaknaden av angreppsytor högre upp än 3,5 cm ovan vattenlinjen. Detta medför att den resulterande kraften angriper längre ner än vid A1.

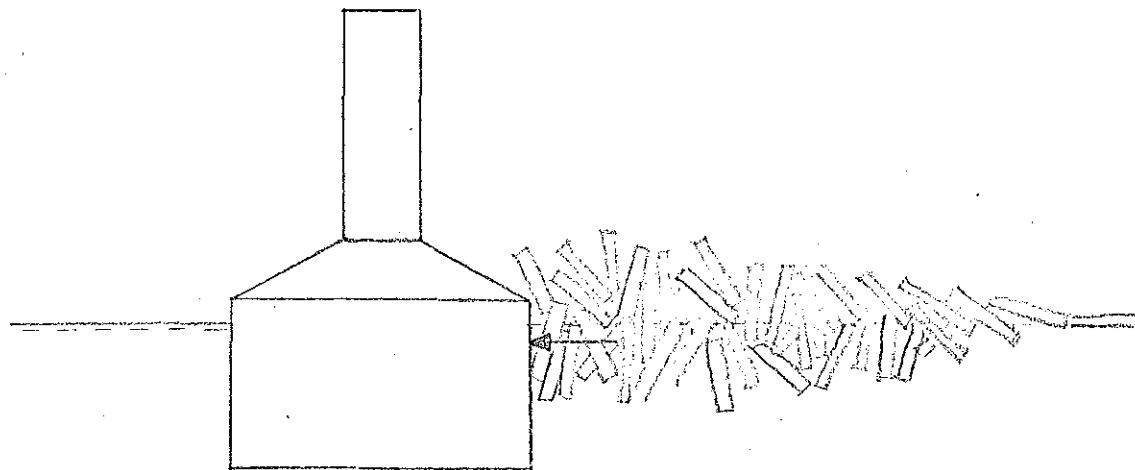


Fig.25 Isens brötbildning mot fyrtyp A3.

Vid fyrtyp A2 ligger vattenytan ung. mitt på konen och träplattorna klättrar därför upp längs densamma. P. g. a. att kassunens vertikala väggar ligger endast 4 cm under vattenytan kommer en stor del av de nedpressade plattorna att angripa mot denna yta. Den resulterande kraften angriper sålunda enligt fig.

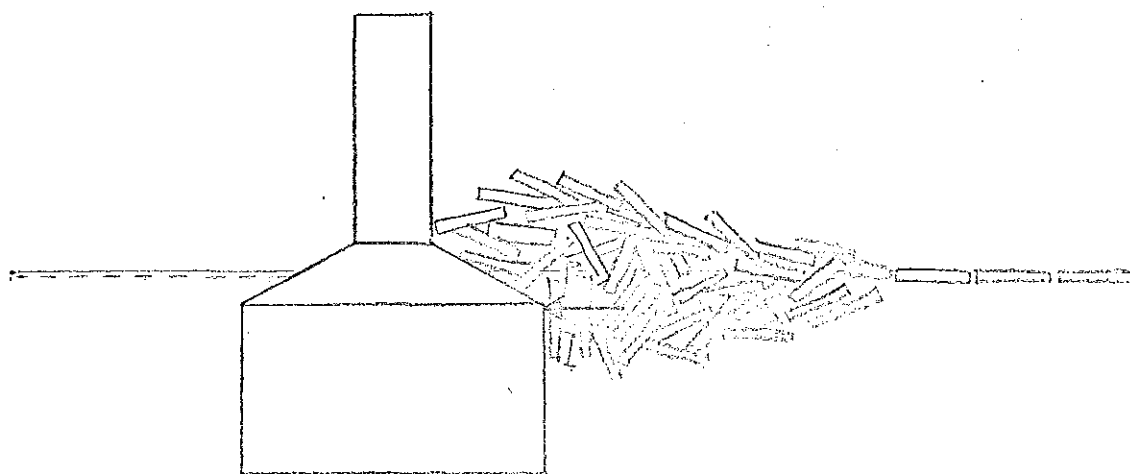


Fig.26 Isens brötbidning mot fyrtyp A2.

Gemensamt för fyrtyperna A2 och B2 . gäller att friktionen mellan träplattorna och mellan plattorna och fyrmodellen är av avgörande betydelse för upptorning och kraftangrepp. Vid dessa fyrtyper når träplattorna på grund av friktionen inte fram till de ytor ovan vattenlinjen där de kan tänkas angripa.

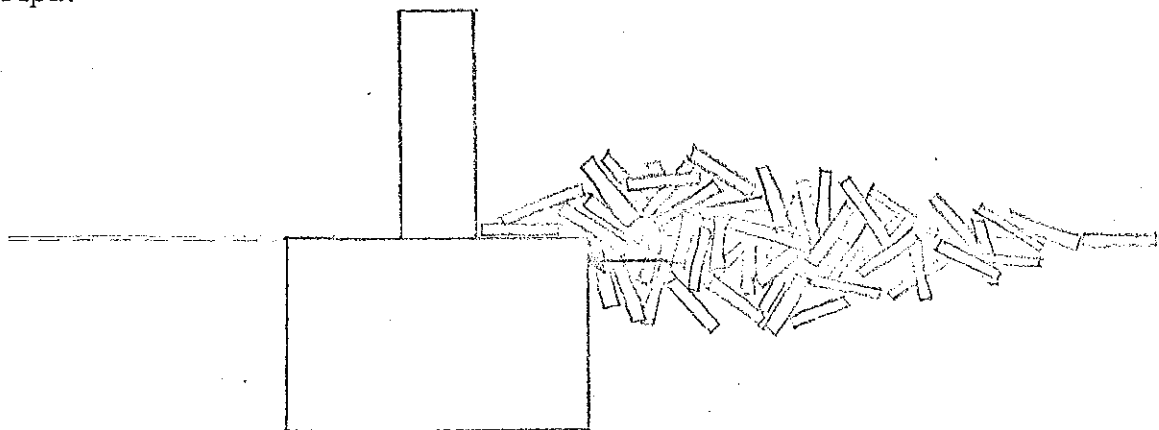


Fig.27 Isens brötbildning mot fyrtyp B2.

Under verkliga isförhållanden borde på grundval av nämnda erfarenheter en större nedpressning vid vertikala ytor samt en mer markerad uppglidning av isflak på varandra kunna påräknas.

9.5 Inverkan av närheten till botten.

Isens upptorning är starkt beroende av närheten till botten. Man kan nämligen räkna med mottryck från densamma, vilket kan ge betydande upptorningshöjder.

Om man jämför fyrtyperna A1, C1 och B1 finner man, att de båda förstnämnda uppvisar betydande likheter såväl beträffande krafternas storlek och angreppspunkt som upptorningshöjd. Detta förhållande torde bekräfta, att en under fyrtornet tillräckligt djupt liggande kassun eller botten ej påverkar isens upptorning resp. nedpressning. Exempel på detta är A1, fig.24 , där nedpressningen uppgår till 10 cm. Förhållandet torde i verkligheten innebära att om kassunen befinner sig djupare än 4-5 meter under vattenytan är inverkan av denna obetydlig. Denna slutsats bekräftas också i facklitteraturen, se [8] .

Beträffande fyrtypen B1 har vi däremot erhållit en större upptorning än vid A1 och C1. Vattenytan ligger här endast 4 cm över kassunen, som alltså i detta fall medverkar till ökad upptorningshöjd. Detta innebär att om kassunen i verkligheten ligger grundare än 2-2,5 meter tycks inverkan av den bli betydande.

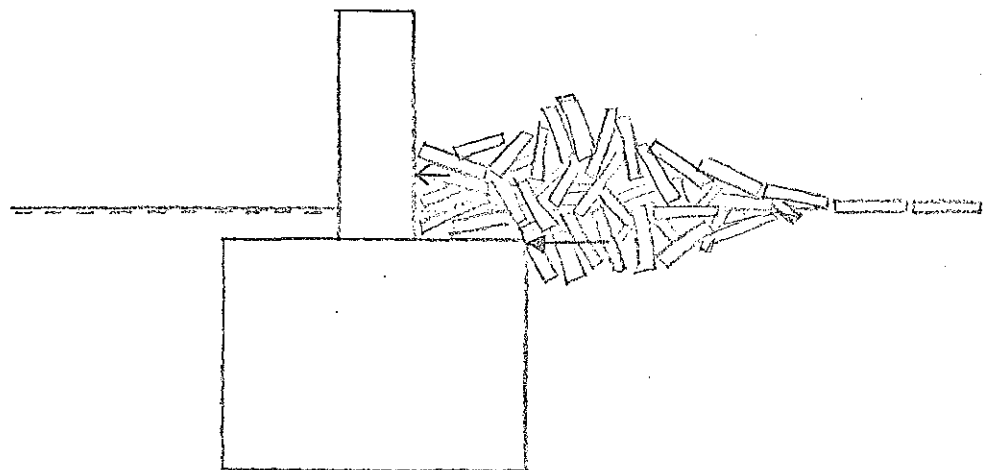


Fig. 28 Isens brötbildning mot fyrtyp B1.

För att göra ett försök med "verklig" botteninverkan anbragte vi under konen en plywoodskiva med måtten 150 x 80 x 1,5 cm. Se fig.

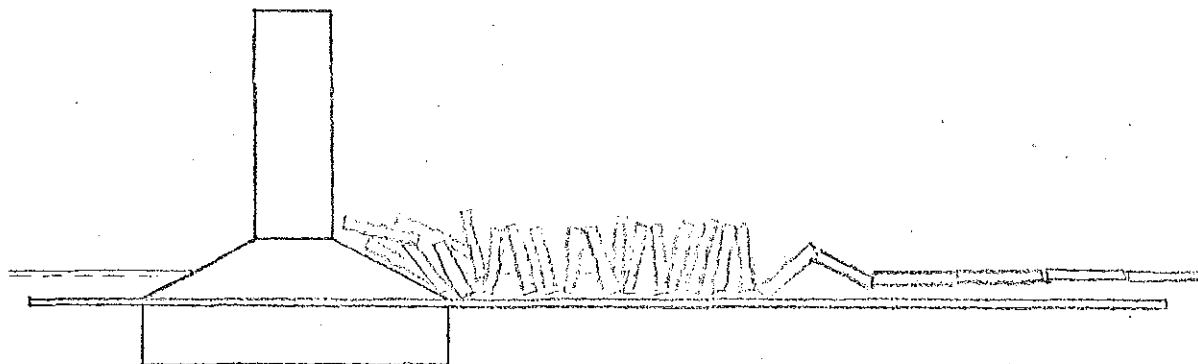


Fig. 29 Isens brötbildning mot fyrtyp A2 med botteninverkan.

Vid detta försök var djupet till "botten" 4 cm. Resultatet blev en upptorningshöjd av 9 cm, vilket är något mindre än vid A2. Här måste dock beaktas att friktionen mellan träplattorna och plywoodskivan inverkade menligt på upptorningshöjden. Med riktig is och därmed minskad friktion borde betydande upptorningshöjder kunna påräknas.

Ytterligare försök gjordes för att få en uppfattning om botteninverkan. De utfördes med fyrtyp A1,5, som egentligen är av typ A1 men med sänkt vattenyta för att erhålla botteninverkan. Upptorningen blev vid detta försök större än vid A1, beroende på kassunens för upptorning gynnsamma läge i förhållande till vattenytan.

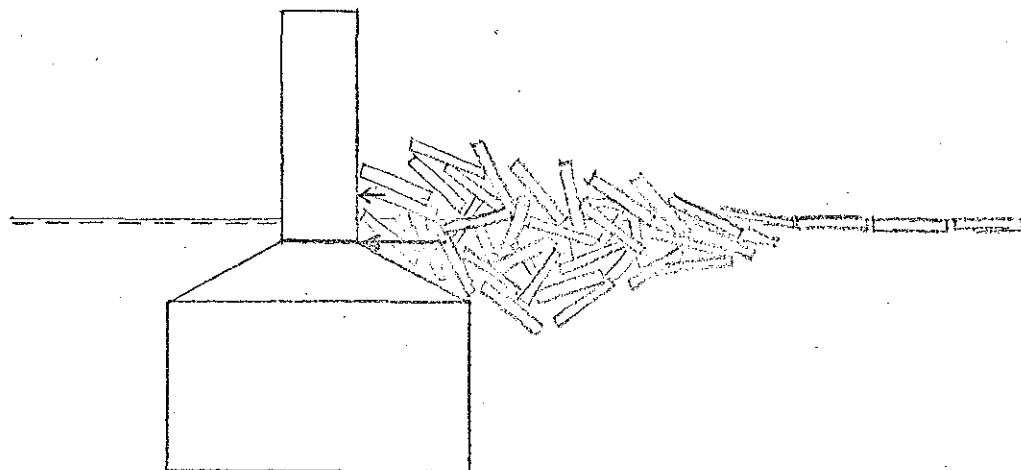


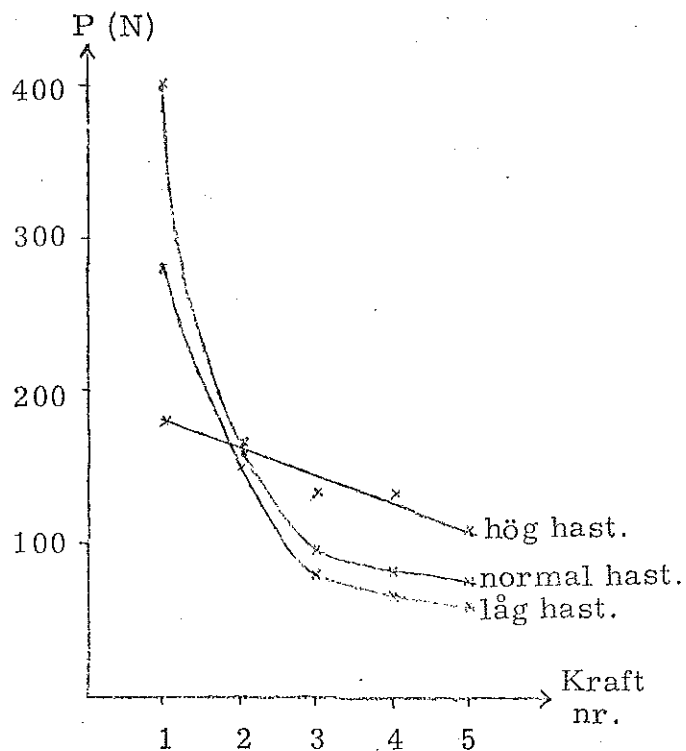
Fig.30 Isens brötbildning mot fyrtyp A 1,5 .

Sammanfattningsvis kan sägas att de större upptorningshöjder som erhöles för A1.5 och B 1 möjliggör ett ökat kraftangrepp ovan vattenytan och därmed ökat moment kring tornets infästning i kassunen. Resultanten ligger dock även för dessa två fall under vattenytan.

De försök som utfördes med små träplattor gav ringa upptorning.

9.6 Hastighetens inverkan.

De flesta försöken utfördes med en vagnhastighet på ca. 4 cm/s. För att utröna hur ändrad hastighet påverkar mätresultaten prövades två alternativa hastigheter, nämligen 7,4 resp. 1,7 cm/s. De krafter som uppkommer vid den högre hastigheten blir genomsnittligt något större än vid normal och låg hastighet, samt uppvisar en tämligen jämn fördelning. Normal och låg hastighet resulterar i större maxkrafter. Spridningen är dock mycket större här och övriga fyra uppmätta krafter är mindre än motsvarande vid hög hastighet. De stora max-krafterna vid de lägre hastigheterna orsakas uppenbarligen av enstaka knäckningsfenomen som lättare utbildas vid dessa hastigheter.



9.7 Kraftangreppens periodicitet

En intressant aspekt vid dimensionering av fyrar är lastens dynamiska effekt på konstruktionen. Vi har därför vid våra försök gjort en bedömning av de större krafternas angreppsfrekvens. På grund av att antalet försök gjorda med de olika fyrtyperna varierar är vårt material vid bedömningen olika omfattande.

Vid fyrtyp A2 har vi gjort 4 st försök med parkettpackning och frekvensen för dessa försök är reellt stabil, varför vi anser oss kunna göra en korrekt bedömning av frekvenserna hos de olika fyrtyperna relativt varandra. Härvid har framkommit att vid parkettpackning uppträder ungefär var 13:e sekund en kraft som är större än de övriga. Detta motsvarar en förflyttning av ca. 50 cm. Beträffande drivispackning har vi erhållit en något kortare period, ungefär 10 sekunder.

Periodens längd tycks även vara beroende av isflakens storlek eftersom små bitar gav en period på endast ca. 4 sek.

Försök gjordes även med högre resp. lägre hastighet på typ A3. Den högre hastigheten resulterade i en period på 8 sek. d.v.s. kortare än vid normal hastighet, som gav periodlängden 13 sek. Vid den lägre hastigheten däremot blev perioden avsevärt längre, ungefär 30 sek. På grund av att bara ett försök gjordes med varje hastighet kan det vara vanskligt att fastställa en trend, men lägre hastighet tycks öka perioden och högre hastighet minska perioden. Den förflyttning som perioderna 8-30 sek. motsvarar, varierar mellan 50 och 95 cm.

Vad beträffar packis uppvisar diagrammet en regelbundenhet som ger en period på ca. 12 sek. Detta gäller samtliga fyrtyper. Orsaken härtill kan tänkas vara att det vid packis ej förekommer något utpräglat knäckningsfenomen. Istället byggs en bröt upp och när denna bryts uppvisar diagrammet de karakteristiska dalarna.

9.8 Beräkningsexempel teori - modellförsök

Enligt teoriavsnittet under punkt 4.1 gäller för upptorningshöjden h :

$$h = \sqrt{\frac{2 p T}{g \cdot \rho (1 + \mu / \tan \beta)}}$$

Eftersom ρ i ovanstående formel anger isbrötens skrymdensitet bestämde vi densamma på följande sätt:

En låda med måtten 45 x 27 x 28 cm fylldes med träplattor på samma oordnade sätt som i en isbröte. Nettovikten bestämdes till 9,75 kg.

$$\rho = \frac{9,75}{0,45 \cdot 0,27 \cdot 0,28} = 280 \text{ kg/m}^3$$

Den upptornade modellens lutning var genomgående ca. 1:3. Isbrötens lutningsvinkel erhöles ur $\tan \beta = \frac{1}{3}$, sålunda till $\beta = 20^\circ$.

Ovanstående formel är härledd under förutsättningen att packisvallens bredd är mycket stor d. v. s. att vi har krafter endast i ett plan.

Våra modellers diameter är av samma storleksordning som isbrötens höjd. Detta mindre breddmått torde medföra att den i försöken erhållna upptorningshöjden är något mindre än den enligt formeln möjliga.

För fyrtyp A1 gäller:

$$h = 0,1 \text{ m}$$

$$\beta \approx 20^\circ \text{ medför } \tan \beta = 1/3$$

$$\rho = 280 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,4$$

$$T = 0,02 \text{ m}$$

Insättning i formeln ger:

$$0,1 = \sqrt{\frac{2 p \cdot 0,02}{10 \cdot 280 (1 + \frac{1,4}{1/3})}}$$

$$0,1^2 = \frac{0,04 p}{10 \cdot 280 (1 + 3 \cdot 1,4)} = \frac{0,04 p}{2800 \cdot 5,2}$$

$$\therefore p = \frac{0,01 \cdot 2800 \cdot 5,2}{0,04} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$$

Insättning av aktuell exponeringsyta = $0,1 \cdot 0,02 = 0,002 \text{ m}^2$ ger en kraft av 7,2 N. Motsvarande kraft vid försöket är den kraft som under en längre tid kan upprätthålla en given upptorningshöjd. Det är alltså fråga om bakgrundskrafterna, som vid A1-försöken uppgick till ca 10 N, se fig. 17.

För fyrtyp A3 gäller samma som för A1 ovan, dock att aktuell exponeringsyta = $0,4 \cdot 0,02 = 0,008$. Detta ger en kraft av 29 N. Här är de vid försöken aktuella krafterna ca. 25 N, varför överensstämmelse även i detta fall är god.

För fyrtyp A2 gäller:

$$h = 0,15 \text{ m}$$

$$\beta \approx 20^\circ \quad \text{tg} \beta = 1/3$$

$$\rho = 280 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,4$$

$$T = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{aktuell exponeringsyta} = 0,24 \cdot 0,02 = 0,0048 \text{ m}^2$$

Insättning i formeln ger:

$$0,15 = \sqrt{\frac{2 p \cdot 0,02}{10 \cdot 280 \left(1 + \frac{1,4}{1/3}\right)}}$$

$$0,15^2 = \frac{0,04}{2800 \cdot 5,2}$$

$$p = \frac{0,0225 \cdot 2800 \cdot 5,2}{0,04} = 8,1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Insättning av aktuell exponeringsyta} \Rightarrow 0,0048 \cdot 8,1 \cdot 10^3 = 39 \text{ N.}$$

De vid försöken aktuella krafterna uppgår till ca. 20 N. Avvikelsen är sålunda ca. 50%, vilket vid beräkningar av det här slaget får anses vara acceptabelt.

Friktionens inverkan.

Av formeln framgår, att vid konstant upptorningshöjd ger en större friktion en större kraft. Å andra sidan tyder våra försök på att en ökad friktion ger en lägre upptorning. Sålunda är det vanskligt att uttala sig om hur friktionen påverkar kraften på fyren.

9.9 Jämförelse modell - verklighet.

Vid fyrtyp A1 erhålles krafter i storleksordningen 145 N. Vid en jämförelse mellan denna fyrmodell och fyren Nygrån (se [1]) finner man att skalan är 1:23

Enl. punkt 4.3 motsvarar då kraften 145 N i verkligheten $145 \cdot 25^3 \text{ N} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ N}$. Den kraft som orsakade brottet på fyren Nygrån var troligtvis av storleksordningen $2,7 \cdot 10^6 \text{ N}$.

Samma betraktelse på fyren Tainio (se [9]) ger skalan 1:35. Alltså erhålles kraften $145 \cdot 35^3 = 6,3 \cdot 10^6$ N. Brottkraften uppskattades här till minst $4,7 \cdot 10^6$ N.

Överföringen modell - verklighet tycks alltså stämma väl trots alla de faktorer som kan inverka menligt på resultatet.

10. Sammanfattning.

Detta examensarbets uppgift har varit att med modellförsök söka utröna kraftspelet kring en kassunfyr på öppet vatten utsatt för isskruvning. "Istäcket" som utgjordes av träplattor ordnades i en ränna. Fyrmodellen fördes med hjälp av en rörlig vagn fram genom istäcket, varvid kraftgivare registrerade krafterna samt dess angreppspunkter. Särskild vikt lades vid bestämning av krafternas storlek, angreppspunkt och isbrötens form vid variation av parametrar såsom fyrmodellens utseende, isens karaktär, deformationshastighet och vattendjup.

Av försöken drog vi bl. a. följande slutsatser: Ett slätt istäcke ger generellt sett större krafter än ett uppbrutet istäcke av packistyp. Vid slätt istäcke gäller att ju brantare lutningen är hos fyrsidan desto större blir krafterna. Fyrens diameter påverkar dock ej nämnvärt krafternas storlek. Krafterna vid ett istäcke av packistyp är däremot beroende av den exponerade ytans storlek, men ej av fyrsidans lutning.

Vid bildandet av en isbröt mot en vertikal fyrsida noterades att isens fördelning i höjddled var direkt beroende av isens densitet. Detta visade sig gälla om djupet till bottnen eller en under fyrtornet belägen kassun motsvarade ett djup större än 4-5 m. Maximal höjd på isbröten erhöles vid sluttande fyrsida.

Avslutningsvis gjordes en jämförelse mellan modell och verklighet. Två isskadade fyrar studerades, nämligen Nygrån utanför Luleå och Tainio i Finska Viken. De resultat som våra mätningar gav för motsvarande fall, visar god överensstämmelse med fyrarnas teoretiska brottlaster.

LITTERATURFÖRTECKNING

- [1] Bergdahl, Lars: Ice pressure against lighthouses.
Inst. för vattenbyggnad, CTH. Gbg 1971
- [2] Frost, Rikard V : Uppförandet av fem bottenfasta fyrrar invid djuprättan
i Kalmarsund. Betong Årg. 26 sid. 215-256. Sthlm 1941
- [3] Allen, Monti, Lavoie and Nadon : Analysis of forces in a pile up of ice.
National Research Council of Canada, Technical Memorandum
No. 98, Ottawa 1970
- [4] Reinius, Haggård, Ernstsons : Experiences of offshore lighthouses in Sweden.
Proceedings POAC-conference, Norway 1971, Vol. 1, sid. 657-673
- [5] Michel, Bernard : Ice modelling in hydraulic engineering. IAHR
Symposium, Reykjavik 1970.
- [6] Neill, C.R : Ice pressure on bridge piers in Alberta, Canada. IAHR
Symposium , Reykjavik 1970.
- [7] Allen, Monti, Lavoie and Nadon : Effective forces of floating ice on
structures. National Research Council of Canada, Technical
Memorandum No. 98, Ottawa 1970.
- [8] Bruun and Straumshes : Piling up of ice on seashores and coastal
structures, IAHR Symposium, Reykjavik 1970.
- [9] Palosuo, Erkki : The structure of an ice ridge in the Baltic, IAHR
Symposium, Reykjavik 1970.