

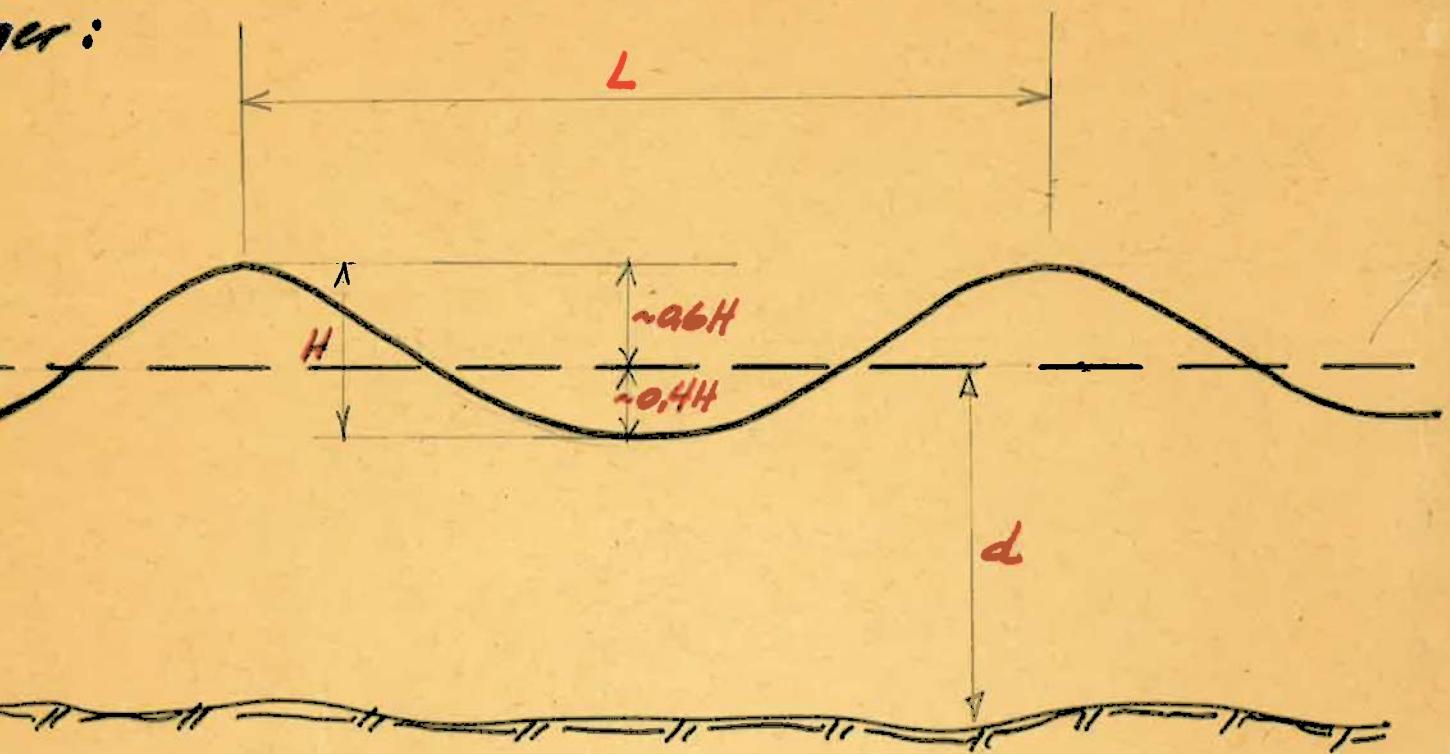


BØLGER OG BØLGEOPPLØP PÅ DAMSKRÅNINGER  
og

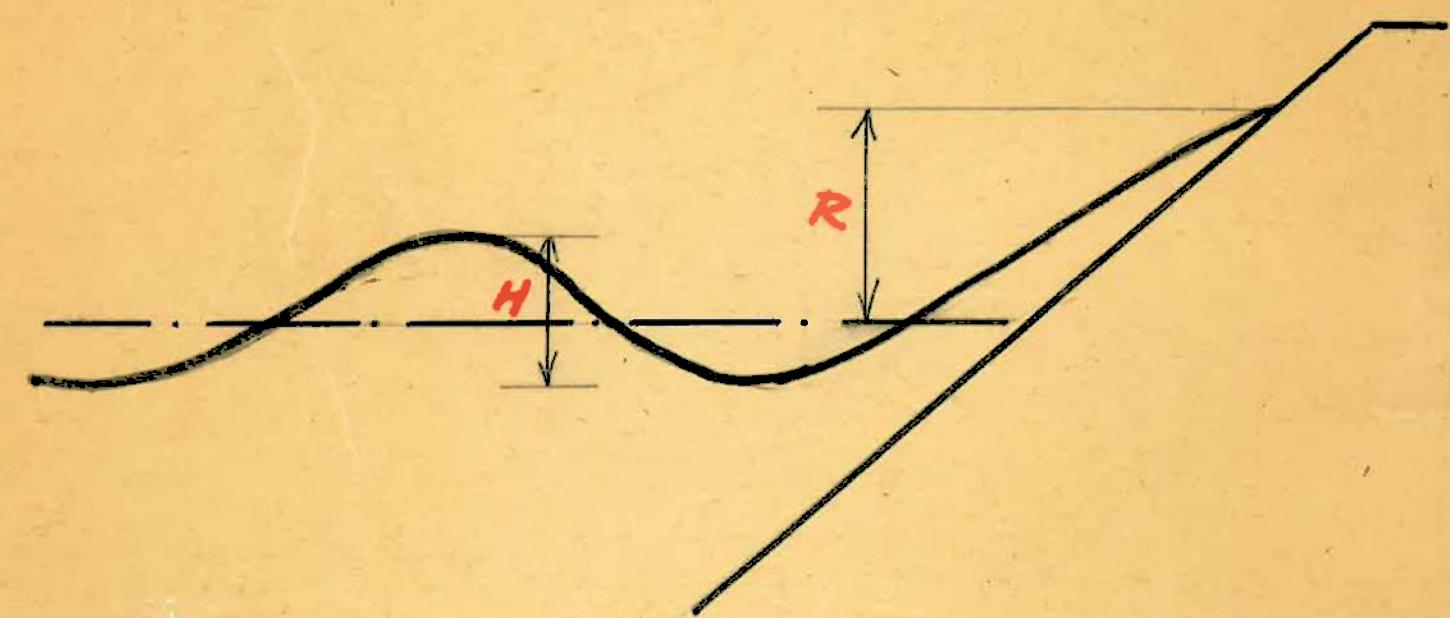
NØDVENDIG BLOKKSTØRRELSE I  
SKRÅNINGSBESKYTTELSE

NORGES VASSDRAGS-  
OG ENERGIDIREKTORAT  
BIBLIOTEKET

er:



olgeoplap:



## Bølger i innsjøer og bølgeoppløp på damskråninger

### I. Bølger

Vindgenererte bølger vil bl.a. på grunn av interferens ha forskjellig bølgehøyde. I våre beregninger er det praktisk å bruke den såkalte signifikante bølgehøyde,  $H_s$ , og den defineres som middelverdien av den høyeste tredjedel av bølgene. Ifølge beregninger og målinger vil den midlere ( $H_m$ ) og maksimale ( $H_{maks}$ ) bølgehøyde forholde seg til  $H_s$  slik:

$$H_m \sim 0,63 H_s$$

$$H_{maks} \sim 1,80 H_s$$

Ved bølgeberegninger brukes ellers følgende betegnelser:

L = bølgelengde

T = " periode

C = bølgens forplantningshastighet.

Her er: L = C . T

Med vanndybde = d, har vi:

$$C^2 = \frac{g \cdot L}{2 \cdot \pi} \cdot \operatorname{tgh} \frac{2\pi}{L} \cdot d$$

Når d er stor i forhold til L:

$$\operatorname{tgh} \frac{2\pi}{L} \cdot d \rightarrow 1,0, \text{ og ved}$$

dypvannsforhold blir:

$$C_o^2 = \frac{g \cdot L_o}{2 \cdot \pi}$$

(indeks o ved dypt vann)

Setter inn  $L_o = C_o \cdot T_o$  og får:

$$C_o = \frac{g \cdot T_o}{2\pi} = 1,56 T_o$$

$$\text{og: } L_o = C_o \cdot T_o = 1,56 \cdot T_o^2$$

Dypt vann har man i denne sammenheng når dybden er større enn en tredjedel av bølgelengden ):  $d > \frac{L_o}{3}$

-----

Til beregning av signifikant bølgehøyde og -periode har det vært satt opp flere formler og diagrammer i tidens løp. Det mest brukte ved beregning av havbølger er vel S-M-B diagrammet (Sverdrup-Munk-Bretschneider). Dette er gjengitt i [1]. For innsjøforhold er det omarbeidet på grunnlag av målinger i USA og gjengitt i [2].

I fig.1 er  $H_s$  tegnet opp som en funksjon av det effektive strøk  $F_E$  ved vindhastigheter 20 m/s og 30 m/s (tilsv. sterke kuling og sterke storm). Samtidig er bølgelengden  $L_s$  regnet ut ( $L = 1,57 \cdot T^2$ ) og tegnet inn. Størrelsen av  $T$  er tatt fra [2] og er ikke gjengitt her.

For beregning av bølgeoppløpet har man bruk for forholdet  $H/L$ . Dette er også angitt grafisk i fig.1. Hvordan forholdet  $H/L$  er f.eks. for  $H_{maks}$  eller  $H_{mid}$  er ikke kjent, men dersom man antar at bølgelengden endres proporsjonalt med bølgehøyden, kan man bruke  $H_s/L_s$  for alle bølger.

Hvilken bølgehøyde som legges til grunn for beregning av oppløpet må sees i sammenheng med dammens utforming. Det foreslås at man går ut fra en dimensjonerende bølgehøyde:  $H_{dim} = 1,3 H_s$  ved beregning av bølgeoppløpet. Som en hovedregel tillater man da at denne bølgen kan slå opp i høyde med damkrone på en fyllingsdam.

Når  $H_{dim}$  er beregnet må det kontrolleres at man virkelig har dypvannsforhold.

Eksempel: Vindhastighet 30 m/s og  $F_E = 1,5$  km gir  $H_s = 0,9$  m og  $L_s = 15$  m.  
 $) : L_{dim} = 1,3 \cdot 15 = 19,5$  m. Dypvannsforhold har man da hvis dybden foran dammen er minst  $\frac{19,5}{3} = 6,5$  m. Dette er nødv. minstedybde ved enden av strøke for å få fullt utviklet  $H_{dim}^3$ . På et tidligere punkt i strøket vil H og L være mindre, og nødv. dybde reduseres tilsvarende.

Effektivt strøk  $F_E$  kan tas fra diagram med basis i sjøens bredde/lengde-forhold (fig.2) eller ut fra grafisk metode (fig.3). Den sistnevnte metode anbefales, idet den er lagt til grunn for  $H_s$ -diagrammet. Metoden baserer seg bl.a. på den antakelse at vinden overfører energi til vannoverflaten i den retning den blåser og i inntil  $45^\circ$  til begge sider av retningen.

## II. Bølgeoppløp

Hvor langt oppover en skråning en bølge vil slå avhenger bl.a. av bølgehøyde, krapphet (steepness)  $H_s/L$ , skråningshelling og overflatens beskaffenhet (ruhet og posisjon).

Bølgeoppløpet regnes som den vertikale avstand mellom stillevannstanden og det høyeste punktet bølgen når opp til i skråningen. Det betegnes med R.

De diagrammer som er vist i fig.4, er hentet fra litt. [2]. Det fremgår klar at det er stor forskjell mellom oppløpet på en glatt skråning og en skråning dekket med grov stein. Ved overgangsformer kan man beregne ytterverdiene og vurdere et sannsynlig oppløp ut fra disse.

Bølgeoppløpet blir størst når bølgen beveger seg normalt til damaksen. Dersom forplantningsretningen danner en vinkel  $\beta$  med normalen til damaksen, multipliseres R med  $\cos \beta$  for å få det virkelige oppløpet.

Flg. kombinasjoner undersøkes:

- 1) HRV og  $R_{dim}$  ved vindhastighet  $W = 30$  m/s.
- 2) H.flomvannst. og  $R_{dim}$  ved vindhastighet :  $W = 20$  m/s.

Nødv. kjernehøyde i relasjon til bølgehøyden er vanskelig å vurdere. Det anbefales som en hovedregel å forlange at kjernetoppen skal ligge minst 0,5 m

over høyeste flomvannstand, og at man alt etter de lokale forhold justerer denne verdi noe opp eller ned. Ved en liten dam uten særlig bølgepåkjenning kan kravet reduseres, mens det bør skjerpes i tilfeller ved høye bølger og permeabel støttefylling.

Det er klart at beregninger av denne art bygger på mange usikre faktorer, og det er ingen grunn til å regne med cm-nøyaktighet. Resultatene må også som nevnt foran sees i sammenheng med dammens utforming. Damkrone og nedstrøms skråning må i alle tilfeller sikres mot erosjon p.g.a. nedbør, smeltevann og vann som blåser over dammen under sterk vind.

-----

Litteratur:

[1] U.S. Army Coastal Engineering Research Center: Shore Protection Planning and Design. Technical Report No.4.

[2] Beach Erosion Board: Waves in Inland Reservoirs, Technical Memorandum No.132.

VVT, 2.2.1976

Bj. Nicolaisen

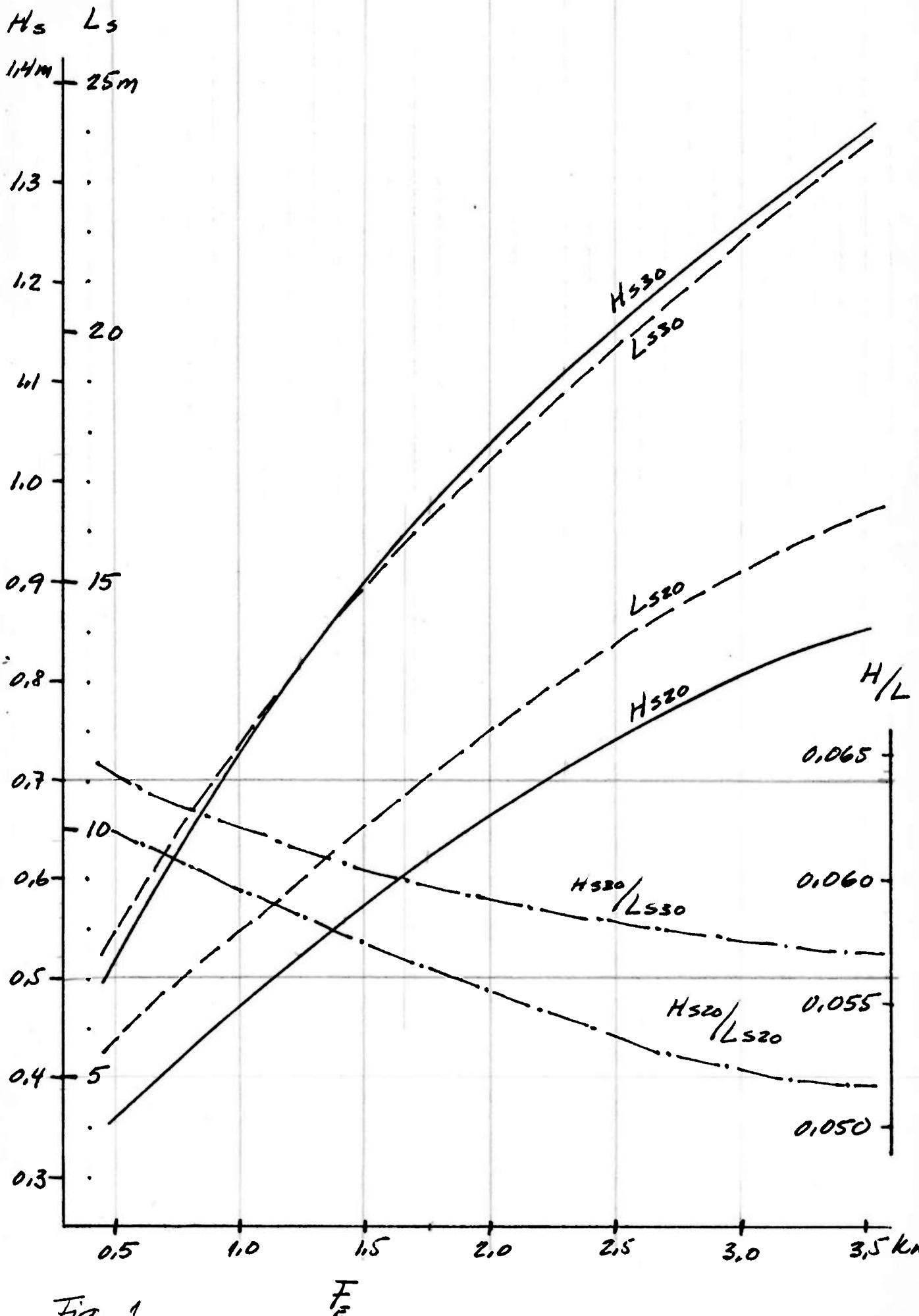
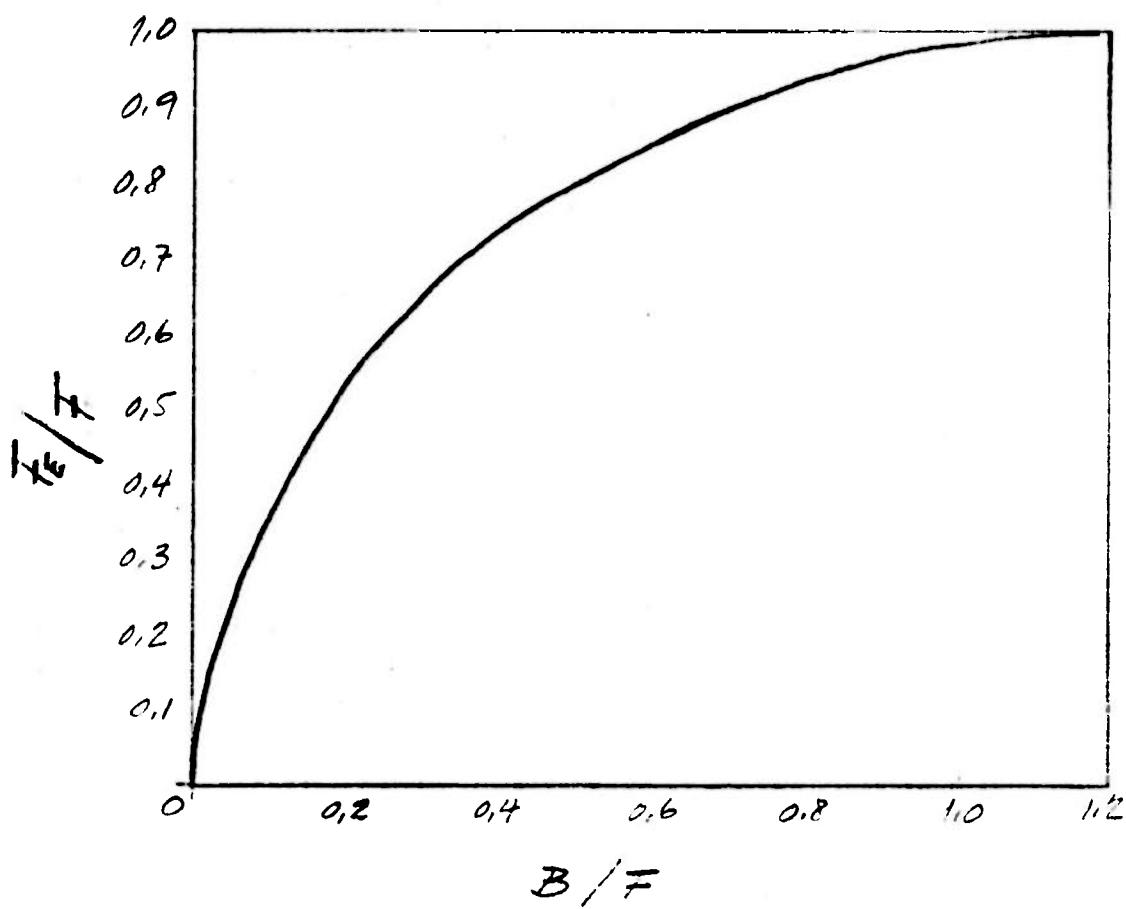
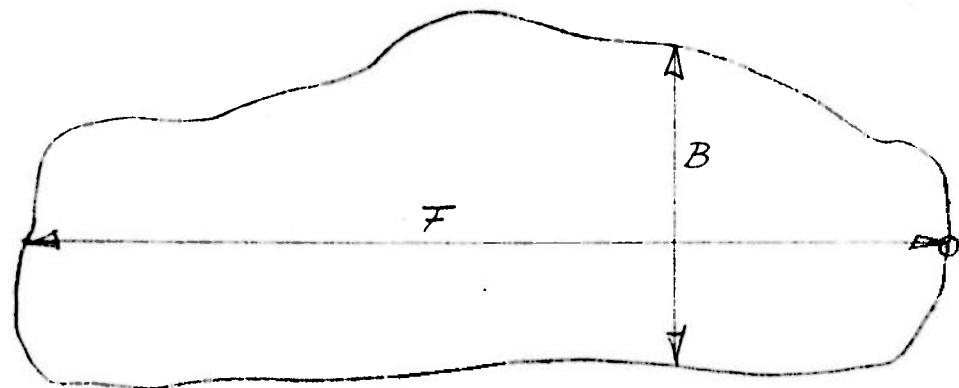


Fig. 1



Effektivt tryck vid tillverkning  
rektagulare insidor.

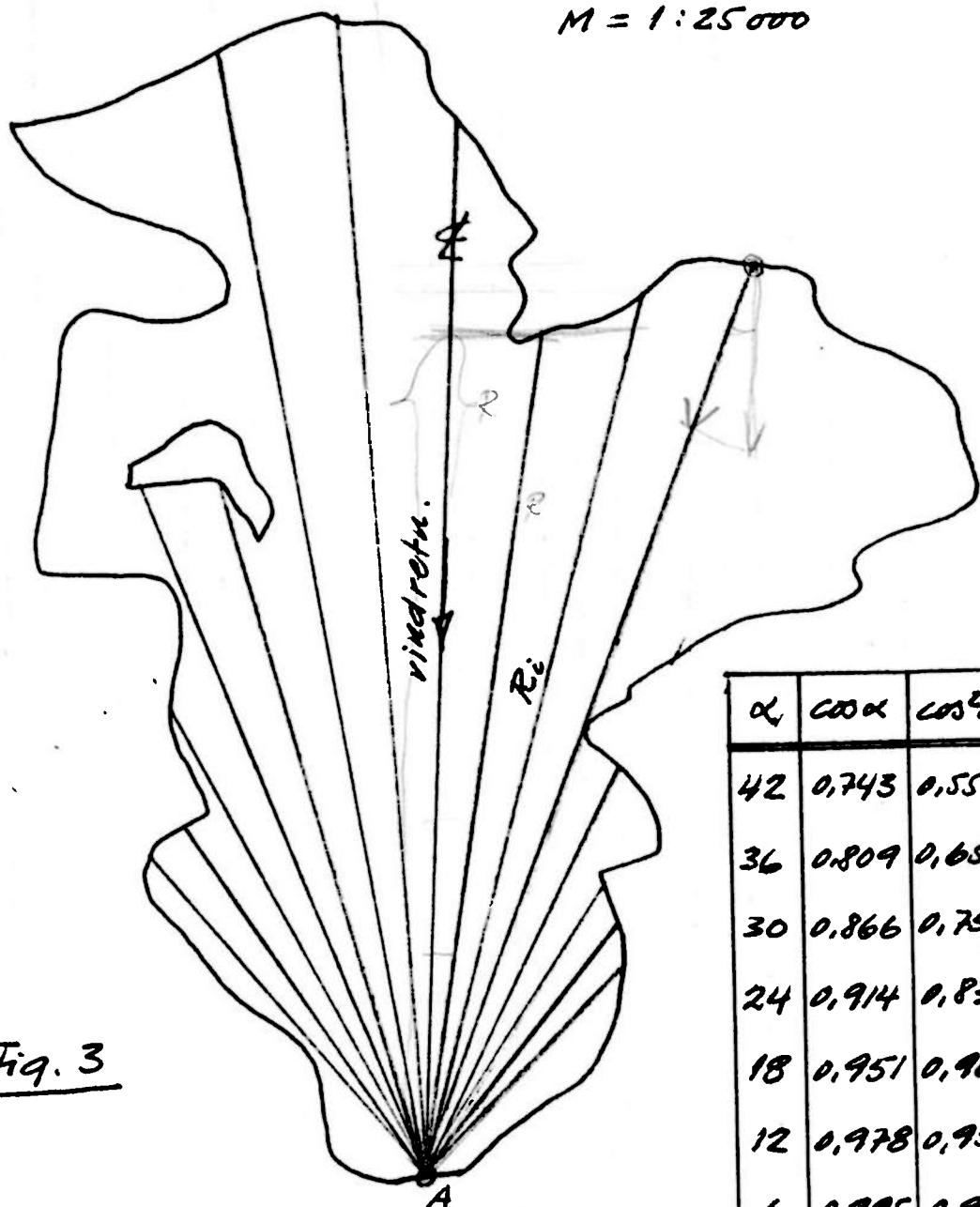


Fig. 3

Ved beregning av  $F_E$  i pkt. A velges først ugunstigste vindretur. Med denne som  $\epsilon$  avsettes til begge sider radier ( $R$ ) i  $6^\circ$ 's innbyrdes vinkelavst. inntil  $42^\circ$  fra  $\epsilon$ .

Somstlige lengder  $R$  måles og settes inn i tabellen. Det effektive streket finnes av uttrykket:

$$F_E = \frac{\sum R \cdot \cos^2 \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\text{Tilslutningsstrek: } F_E = \frac{31.87}{13,512} = \underline{\underline{2,36 \text{ Km}}}$$

$\alpha$	$\cos \alpha$	$\cos^2 \alpha$	$R$	$R \cdot \cos^2 \alpha$
42	0,743	0,552	1,5	0,83
36	0,809	0,655	1,5	0,98
30	0,866	0,750	1,9	1,43
24	0,914	0,835	2,6	2,17
18	0,951	0,905	2,5	2,26
12	0,978	0,957	4,0	3,83
6	0,995	0,989	4,1	4,05
0	1,000	1,000	3,7	3,70
6	0,995	0,989	3,0	2,97
12	0,978	0,957	3,2	3,06
18	0,951	0,905	3,4	3,08
24	0,914	0,835	1,6	1,34
30	0,866	0,750	1,2	0,90
36	0,809	0,655	1,1	0,72
42	0,743	0,552	1,0	0,55
	13,512			31,87

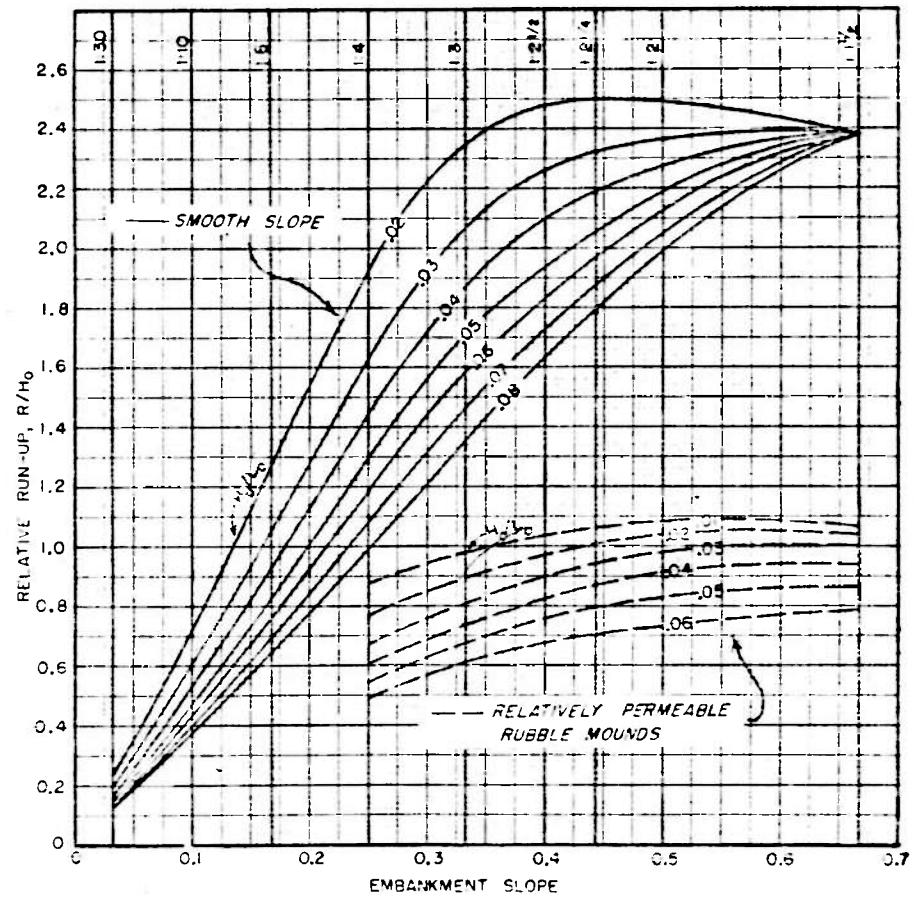
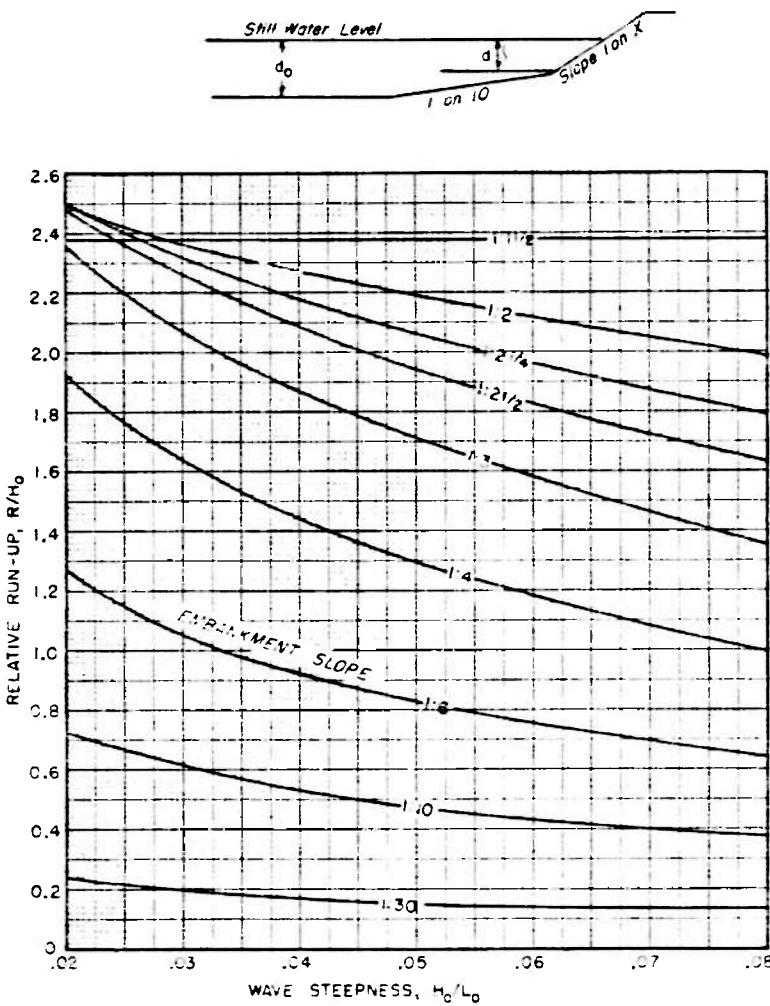


PLATE 37. WAVE RUN-UP RATIOS VERSUS WAVE STEEPNESS AND EMBANKMENT SLOPE

( $d/H_0 > 3$ )

MAP 482

Fig. 4.

Berechnung der notwendig belastbarkeit  
in Schüttungsteckstöcke, je dämmen.

Iflg. Stüdson vil notwendig belastbarhet være:

$$Q = \frac{f_s \cdot R(D=0)^3}{K_d (\frac{f_v}{f_v} - 1)^3 \cdot c_{at} \cdot \alpha}$$

Her sv:  $f_s$  = sp. vekt av blokkematerialet

$f_v$  = --- " ramm

$R$  = tilgehørighed (1.3 ·  $\sigma$  signifik.)

$R(D=0)$  er den dels tilgehørighed som gir skade til 0 (Damage = 0) i modellproblemet. Skadeprocenten beregnes som det prosentvis antall av samtlige blokker som fallet til i løpet av en vis tid (30 min i medietten).

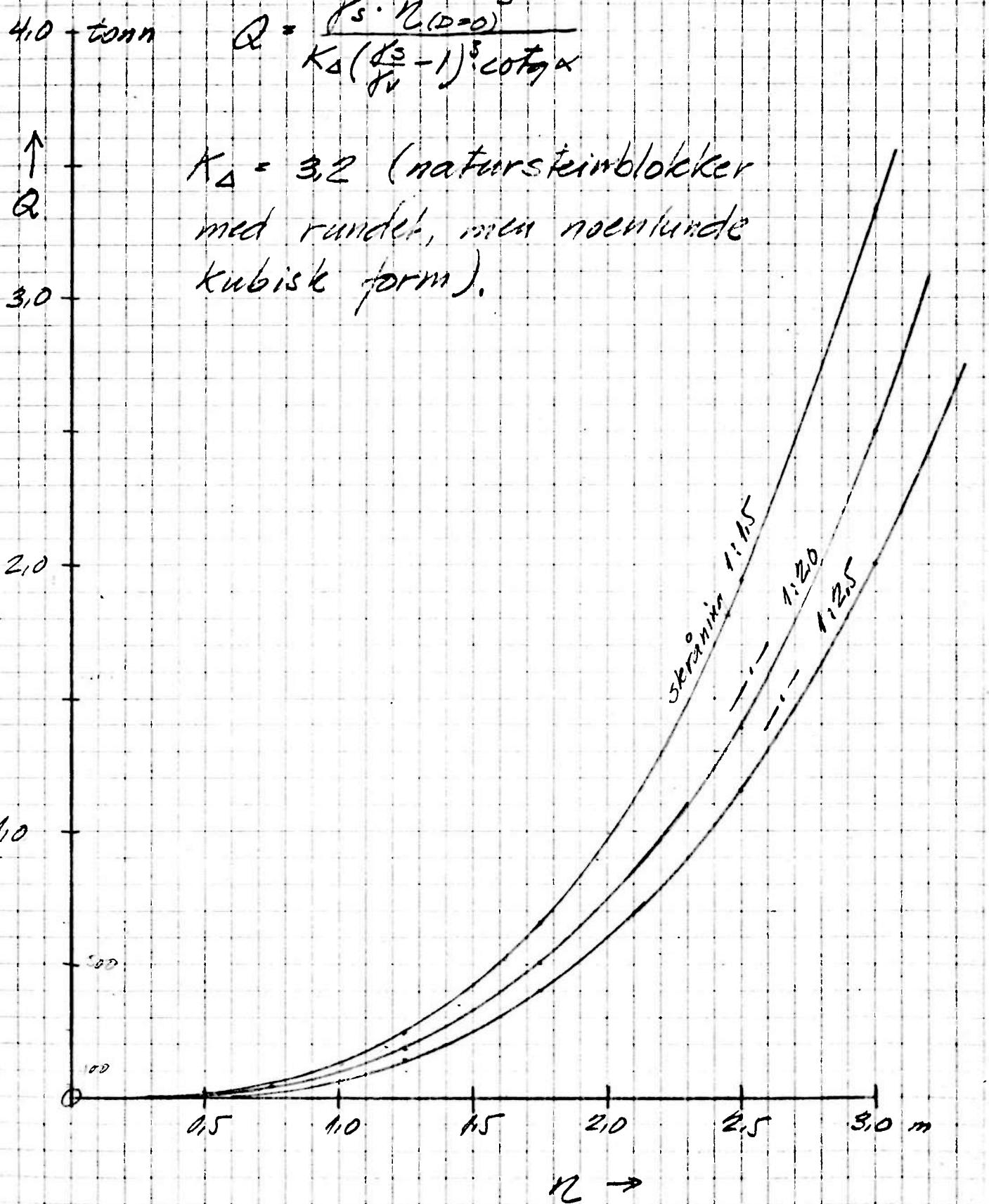
$R(D=0)$  over til at 0-1% faller ut. Stüdson finner f. eks. at:  $R(D=5-15) = 1.3 \cdot R(D=0)$

$K_d$  er konstant for blokken av samme materiale og form, men med varirende størrelse. Stüdson angir her for natursteinblokken med avrundet, men nærtinde kubisk form:

$$K_d = 3.2, \text{ og for tetraprofil: } K_d = 8.3.$$

$\alpha$  er skæringsvinkel med horizontalen

Naturlig blokkstørrelse (vekt) i skråningsbeskyttelse, avhengig av bølgelengde og skråningsvinkel. Beregnet etter Hudsons formel:



BN febr. 1967