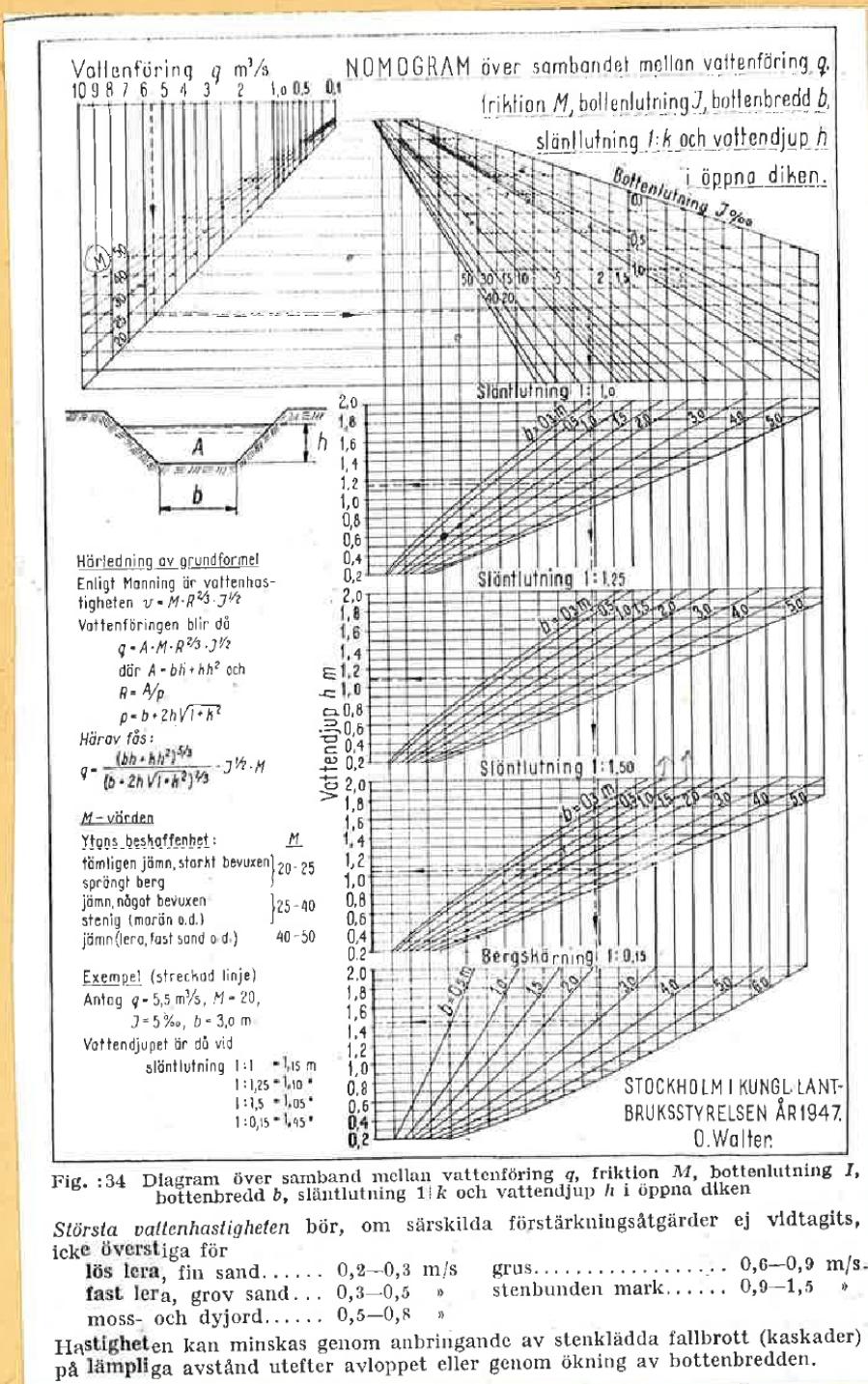




DIMENSJONERING AV KANALER

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET



Beregning av vannstand i elver og kanaler

Beregningene fortsetter at det foreligger leirprofil og leirprofiler i tilstrekkelig tilstrekking for den delen som skal undersøkes. Videre må man fra utgangsprofil få kjende sammenhengen mellom rassfaring og vannstand. Utviklet av M i Moavings formel bestemmes best ikke fra et enkelt element av vannstanden over hele strukturen, men kjent rassfaring. Dersom dette ikke er mulig, må man bruke tabeller, f.eks BYGIG I 142:333.

$$\text{Falltap: } h_f = \frac{v_m^2 \cdot L}{M^2 \cdot R^{4/3}}$$

Ved tversnittsforandringer får man innstrommings- eller utstrommingstap.

Innstromming fra hastighetsstigning, som midtfjor en senking av vannstanden:

$$h = (1 + c_i) \left(\frac{v_{n+1}^2}{z_1} - \frac{v_n^2}{z_1} \right)$$

Verdien for c_i varierer mellom 0,5 (plutselig skarpkantet innmuring) og 0,1 (strømlinjeformet innmuring). For prosjektering kan ofte 0,2 passe.

Aktivering gir hastighetsredusjon, som medfører en børing av rammestanden:

$$\Delta v = \left(1 - \frac{1}{c_a}\right) \left(\frac{v_n^2}{2g} - \frac{v_{n+1}^2}{2g} \right)$$

der variens c_a nallom 1.0 (plutselig oversnittbøring) og 0.1 (st  m  tig uniform overgang). Vid n  rnt  nde givne overgangar kan br  les: $c_a = 0.2$.

Beregningsutstartar i nedre v  de av den aktivering som skal unders  kes. Her fr  nkjeks rammestanden kjent for den r  rjoring det regnes med. Man tipper rammestanden i neste oversnitt, beregner oversnittskonstanten og h  stigheit her og i et vidare oversnitt, og kontrollerer om den tippte rammestand er riktig. Det kriges eventuelt inn til oversnittsmulse.

Til beregningane kan anvendis skjema p   side 3.

Hva og h  r s  r f  res opp i rubrikkene for Δv .

$$Hastighetshøyde = \frac{v^2}{2g}$$

DIMENSJONERING AV KANALER.

I forbindelse med våre arbeider i Vassdragene må vi ta stilling til hvilke tverrsnittdimensjoner og/ eller fall vi skal gi elvefar eller kanaler ved gjennomstikk eller korreksjonsarbeider i eroderbar grunn. Det kan i praksis forekomme bl.a. følgende 2 typiske tilfeller:

- uten (eller ubetydelig) naturlig materialtilførsel fra vassdraget ovenfor den aktuelle strekning,
- med naturlig materialtilførsel ovenfra som må føres igjennom vedkommende strekning uten oppgrunning eller erosjon.

Dimensjonering av kanaler med relativt klart vann for forannevnte tilfelle a) i grunn av friksjonsmasser er omtalt i det følgende, vesentlig på grunnlag av "Open-Channel Hydraulics" av Ven Te Chow [1].

Elvefar eller kanaler må som regel tilfredsstille de 3 hovedkrav under følgende punkt I, II og III.

I.

Det må være tilstrekkelige dimensjoner til å oppta største flom. For den hydrauliske beregning kan f.eks. benyttes en av følgende avløpsformler:

$$\text{Mannings: } v = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2}$$

$$\text{Stricklers: } v = k R^{2/3} J^{1/2}$$

I [1] er rettledning til valg av n-verdier (Mannings n

svarer omtrent til ruhetstallet i Ganguillet og Kutters formel).

Endel k-verdier er angitt i [2]. Nomogrammene synes praktisk ved beregning etter ovenstående 2 formler. Vi kan også beregne k etter korndiameter, kfr. [4].

Foranstående gjelder rettlinjede kanaler. Med kurver av betydning tas hensyn til kurvemotstand og overhøyde i ytterkurvene.

II.

Kanalbunnen må være tilstrekkelig motstandsdyktig mot elvestrømmens påvirkning. Et mål for strømmens angrepsevne har vi i oppredende A) maksimale gjennomsnittshastighet eller kanskje mere korrekt i B) maksimale slepespenning. Bunnens stabilitet kan derfor bedømmes på følgende 2 forskjellige måter.

A. Den maksimale tillatte hastighet er den største gjennomsnittshastighet som ikke vil forårsake graving. Opgaver over slike hastigheter er antagelig usikre og må brukes med kritikk. I sin alminnelighet vil vel også gamle far tåle meget høyere hastighet enn nye. Grunnen er at gamle far er bedre stabilisert ved noen sammenkutting av bunnmaterialene. Om betingelsene forøvrig er de samme vil dessuten en dyp kanal kunne tåle større gjennomsnittshastighet enn en grunnere. Den sannsynlige årsak er at bunnhastigheten er større i det grunnere faret ved en og samme gjennomsnittshastighet.

Fig. 7 - 3 viser verdier for maksimal tillatt hastighet for friksjonsmasser med forskjellige kornstørrelser som gjelder for en dybde på 1 m. Om den er forskjellig fra 1 m må den multipliseres med en korreksjonsfaktor etter fig. 7 - 5 angitt for dybder inntil ca. 3,0 m. A. Schoklitsch i "Handbuch des wasserbaues" angir korreksjonsfaktoren til $h^{0.2}$ hvor vanndybden h settes inn i meter.

Dette gjelder rette kanaler. Hvis kurvet far reduseres tillatte hastigheter med fra 5 % til 22 %.

Ved bruk av nevnte maksimale tillatte hastighet (gjennomsnittshastighet) kan beregningsgangen ved trapestverrsnitt bli følgende:

1. Tillatt hastighet tas f.eks. ut av fig. 7 - 3 med eventuell koreksjon etter fig. 7 - 5.
2. Beregn nødvendig hydraulisk radius, R , etter f.eks. Mannings formel.
- 3.. Beregn nødvendig tverrsnitt $F = Q/V$.
4. Beregn perimeteren $P = F/R$.
5. Tverrsnittet må tilfredsstille følgende 2 ligninger:

$$F = (b + zh) h \text{ og}$$

$$P = b + 2 (1 + z^2)^{1/2} h$$

hvor b = trapesets bunnbredde, z er cotg. av skråningsvinkelen og h er vanndybden.

Av ligningene finnes b og h .

6. Legg til et passende fribord.

Eksempel.

Beregn nødvendig bunnbredde b og vanndybden h i trapesformet kanal med fall $J = 0.0016$. Kanalen graves i et jordsmonn av grov grus med gjennomsnittlig ("average") diameter $d = 25$ mm. Side-skråningene gis en heldning $1 : 2$ ($z = 2$) og er antatt stabile.

Maksimal vassføring $Q = 12 \text{ m}^3/\text{sek}$. Mannings n antatt lik 0.025 .

Løsning. Etter fig. 7 - 3 er tillatt hastighet $v = 4,6 \text{ fot/sek}$. eller 1.4 m/sek . R finnes da etter Mannings formel:

$$1.4 = \frac{1}{0.025} \cdot R^{2/3} \cdot 0.0016^{1/2}$$

Herav $R = 0,82 \text{ m}$.

Videre er nødvendig tverrsnitt $F = \frac{Q}{V} = \frac{12}{1.4} = 8,58 \text{ m}^2$

og $P = F/R = 8,58/0,82 = 10,45 \text{ m}$.

Bredden b og dybden h kan løses av følgende to ligninger:

$$F = (b + zh) \cdot h = (b + 2h) \cdot h = 8,58 \text{ og}$$

$$P = b + 2(1 + z^2)^{1/2} \cdot h = b + 2(1 + 2^2)^{1/2} \cdot h = 10,45$$

Herav $b = 5,4 \text{ m}$ og $h = 1,12 \text{ m}$

I tilfelle den beregnede dybde h blir forskjellig fra 1 m må resultatet betraktes som en første tilnærming. På grunnlag av den tilnærmede h tas ut en korreksjonsfaktor etter fig. 7 - 5 som multiplisert med tillatt hastighet etter f.eks. fig. 7 - 3 gir en korrigert tillatt hastighet. Beregningen gjennomføres på nytt med denne korrigert tillatte hastighet. Om vi i foreliggende eksempel således bruker korreksjonsfaktoren 1.025

får vi som resultat:

$$b = 4,3 \text{ m og } h = 1,23 \text{ m.}$$

B. Slepekraften gir antagelig bedre grunnlag for dimensjonering enn gjennomsnittshastigheten som omtalt under A. Denne kraft - som er friksjon mellom vann og kanal - virker på kanalbunn i strømmens retning. Den gjennomsnittlige slepekraft pr. flate-enhet - eller slepespenning - er

$$T_0 = \gamma \cdot R \cdot J.$$

hvor γ er vannets spesifikke vekt.

I vide kanaler er

$$T_0 = \gamma h J$$

Vi må imidlertid være klar over at slepekraften ikke er jevnt fordelt over perimeteren, kfr. fig. 7-6 og fig. 7-7.

Som grunnlag for en tillatt slepe-spenning ved prosjektering kan brukes den maksimale slepekraft pr. flateenhet som ikke vil forårsake erosjon av betydning på horisontal kanalbunn (i tverrprofil). Resultatene av undersøkelser i årene 1950-52 av stabile kanaler bygget omkring 1880 i The San Luis Valley er angitt i fig. 8. Linje A representerer en slepespenning i kg/m^2 tilnærmet lik d_{75} i cm av grunnskiktet (ved d_{75} forståes maskvidden i et sikt som vil slippe igjennom 75 % av massen etter vekt).

Da de fleste observasjoner ligger omkring denne linje er antatt at den sannsynligvis angir den største slepespenning som

tåles i disse materialer. I ovennevnte fig. 8 angir dessuten linje B en verdi av maksimal slepespenning i kg/m^2 ~~~0,8 · d₇₅~~ i cm som anbefåles forsøksvis inntil videre brukt ved prosjektering av kanaler i grose friksjonsmasser. Det vises først også til fig. 7-10.

Foranstående gjelder for grunnmaterialer med spesifikk vekt $\gamma_s = 2,56 \text{ kg/dm}^3$. Hvis vi har å gjøre med en spesifikk vekt γ_s vesentlig forskjellig fra 2,56 må etter [5] den "tillatte slepespenning" for en bestemt korndiameter etter forannevnte linje B multipliseres med korreksjonsfaktoren

$$\frac{\gamma_s \div \gamma}{2,56 \div \gamma} = \frac{\gamma_s \div 1}{1,56}$$

De angitte verdier gjelder rette kanaler, i kurve særskilt beregning.

Ved planlegging må vi således skaffe oss greie på hvilket jordsmønster kanalen blir liggende i og på grunnlag av "tillatt slepespenning" for dette bestemme et tverrsnitt som gir stabil bunn, kfr. senere eksempel.

III.

Når det gjelder sideskråningene - som også må gjøres stabile - synes klart at en materialpartikkel her vil bevege seg ved en lavere slepespenning enn på kanalbunnen, ved skråninger som vanlig brukes - opp til 1:1.5 - vil den sannsynligvis også være betydelig lavere. Forholdet

$$K = \frac{T_s}{T_L}$$

hvor T_s og T_L er kritisk slepespenning på henholdsvis sideskråninger og bunn horisontal i tverrprofil, kan for friksjonsmasser utledes ved følgende teoretiske betraktning:

En partikkell som har så stor påkjenning at den akkurat blir liggende i ro på en skråning i kanal som gjennomstrømmes av vann, vil påvirkes av 2 krefter: (1) en slepekraft aT_s som virker i strømretningen og (2) en gravitasjonskomponent $W_s \cdot \sin \phi$ som søker trekke vedkommende partikkell med sideskråningen, kfr.

fig. 7 - 8. Her er a = partikkellens "effektive areal", W_s = dens vekt neddykket og ϕ = skråningsvinkelen. Verdien av a er vanskelig å bestemme, men vi behøver ikke bekymre oss om det da den faller bort i resultatet.

Resultanten av disse 2 krefter som står loddrett på hverandre blir

$$(W_s^2 \cdot \sin^2 \phi + a^2 T_s^2)^{\frac{1}{2}}$$

Denne resultantkraft får sin kritiske verdi når den blir lik motstanden mot bevegelsen d.v.s. partikkellens normalkraft $W_s \cos \phi$ multiplisert med friksjonskoeffisienten som er $\operatorname{tg} \Theta$ hvor Θ er materialets naturlige skråningsvinkel eller friksjonsvinkelen.

Dette gir

$$(W_s^2 \cdot \sin^2 \phi + a^2 T_s^2)^{\frac{1}{2}} = W_s \cdot \cos \phi \cdot \operatorname{tg} \Theta.$$

Herav får vi

$$T_s = \frac{W_s}{a} \cdot \cos \phi \operatorname{tg} \Theta \left(1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \phi}{\operatorname{tg}^2 \Theta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

På tilsvarende måte er for horisontal bunn

$$T_L = \frac{W_s}{a} \cdot \operatorname{tg} \Theta$$

Som fåes ved å erstatte T_s med T_L og ved å sette ϕ lik 0 i foregående ligning.

Vi får da forholdet

$$K = \frac{T_s}{T_L} = \cos \phi \left(1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \phi}{\operatorname{tg}^2 \Theta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

eller $K = \left(1 + \frac{\sin^2 \phi}{\sin^2 \Theta} \right)^{\frac{1}{2}}$

Herav sies at K bare er en funksjon av skråningsvinkelen ϕ og materialets friskjonsvinkel Θ . Det legges ved et nomogram som angir K ved forskjellige ϕ og Θ . Det inntegnede eksempel viser at i en kanal med sideskråning 1:2 i et materiale med friksjonsvinkel $\Theta = 35^\circ$ kan skråningen tåle 0,625 av den slepespenning som kanalbunnen tåler. Fig. 7 - 9 viser friksjonsvinkelen for endel friksjonsmasser. Som korndiameter er brukt d_{75} .

Ved f.eks. projektering av kanal i grove friksjonsmasser som skal være stabil uten spesiell beskyttelse av sideskråningene, må sørges for at slepespenningen er mindre enn K ganger den minste slepespenning som kan transportere samme materiale på horisontal bunn (sett i tverrprofil). (Samme betraktnign kan brukes f.eks. ved beregning av nødvendig stein-

størrelse for en gitt skråning, eller beregning av stabil skråningsvinkel ved en gitt steinstørrelse av strandkledningen).

En beregning som antydet under II og III vil formodentlig best illustreres ved følgende:

Eksempel.

Projekter en kanal med trapeztværssnitt i fall 0.016 som skal tåle en vassføring $Q = 12 \text{ m}^3/\text{sek}$. Kanalen graves i friksjonsmasser som består av grov grus og småstein med $d_{75} = 32 \text{ mm}$.

Mannings $n = 0.025$.

Løsning: Projektering kan utføres ved

a) bestemmelse av et tverrsnitt som tåler maksimal opptredende slepespenning på sidene med b) kontroll av dette tverrsnitt med hensyn til bunngraving.

a) Antas sideskråninger 1:2 ($Z = 2$) og forholdet mellom bredde og dybde $b/h = 5$ er den maksimale slepespenning (fig. 7 - 7)

$$0.775 \sqrt{h} J = 0.775 \cdot 1000 \cdot 0.0016 h = (1.24h) \text{ kg/m}^2.$$

Antas meget runde masser med $d_{75} = 32 \text{ mm}$ (1 1/4") er $\Theta = 33,5^\circ$ (fig. 7 - 9). Med $Z = 2$, d.v.s. $\phi = 26,5^\circ$, er

$$K = \left(1 \div \frac{\sin^2 \phi}{\sin^2 \Theta}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.587$$

Vi får da tillatt maksimale slepespenning

$$\text{på bunn: } T_L = 0.8 d_{75} = 0.8 \cdot 3.2 = 2.55 \text{ kg/m}^2 \text{ og}$$

$$\text{på sidene: } T_s = 0,587 \cdot 2,55 = 1.5 \text{ kg/m}^2$$

Grenseverdien for stabile skråninger får vi når opptrædende maksimale slepespenning settes lik den maksimale tillatte, d.v.s.

$$1,24h = 1,5$$

$$\text{hvorav } h = 1,21 \text{ m}$$

$$\text{Bunnbredden } b = 5 \cdot h = 6,05 \text{ m}$$

For et slikt tverrsnitt er

$$F = (b + Zh) \cdot h = (6,05 + 2 \cdot 1,21) \cdot 1,21 = 10,3 \text{ m}^2,$$

$$P = b + 2 (1 + Z^2)^{\frac{1}{2}} h = 6,05 + 2 (1 + 2^2)^{\frac{1}{2}} \cdot 1,21 =$$

$$11,46 \text{ m og}$$

$$R = \frac{F}{P} = 10,3 / 11,46 = 0,897 \text{ m.}$$

Ett slikt tverrsnitt kan ta en vassføring

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} F$$

$$Q = \frac{1}{0.025} \cdot 0,897^{2/3} \cdot 0,0016^{1/2} \cdot 10,3 = 15,3 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

Da $15,3 \text{ m}^3/\text{sek}$ ligger betydelig over forutsatt maksimalvassføring $12 \text{ m}^3/\text{sek}$, kan vi foreta en ny prøveregning.

Det viser seg da at med $Z = 2$ og $b/h = 4$ blir

$$h = 1.22 \text{ m}, b = 4,88 \text{ m og } Q = 12.8 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

b) Med $Z = 2$ og $b/h = 4$ blir den maksimale slepespenning på kanalbunn (fig. 7 - 7):

$$0,97 \cdot 1000 \cdot 1,22 \cdot 0,0016 = 1,9 \text{ kg/m}^2 \text{ som ligger under tillatt slepespenning for kanalbunn, } T_L = 2,55 \text{ kg/m}^2.$$

Sammenligning med Meyer - Peters formel.

I foranstående er for projektering anbefalt en "tillatt slepespenning" = $(0,8 \cdot d_{75}) \text{ kg/m}^2$

hvor d_{75} settes inn i cm.

Opptrædende slepespenning = $\alpha J h = (\alpha \cdot 1000 \cdot h \cdot J) \text{ kg/m}^2$

hvor h settes inn i meter og α tas ut av fig. 7 - 7.

Grensetilfellet blir altså:

$$0,8 d_{75} = \alpha 1000 \cdot h \cdot J$$

Antar vi som en tilnærming at d_m tilsvarer d_{60} blir

om kornfordelingskurven er en parabel

$$d_{75} = \left(\frac{75}{60}\right)^2 d_m = 1,56 d_m$$

som innsatt i foranstående ligning gir

$$d_m = \left(\frac{1000}{0,8 \cdot 1,56} \cdot \alpha h J\right) \text{ cm} = (8 \alpha h J) \text{ meter},$$

På den annen side gir Meyer - Peters formel etter [4]

hvor $\left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2}$ er satt ≈ 1 ,

$$d_m = (13 R_s \cdot J) \text{ meter}.$$

I følgende tabell er for en del profiler satt opp

forholdet

$$\frac{\text{nødvendig } d_m \text{ etter Meyer - Peter}}{\text{nødvendig } d_m \text{ etter "tillatt slepespenning"} } = \frac{13 R_s \cdot J}{8 \alpha h \cdot J} = 1,63 \cdot \frac{R_s}{\alpha h}$$

$\frac{b}{h}$	Sideskråninger		
	1 : 0 (rekktangel)	1 : 1,5	1 : 2
0,5	1,30	1,07	1,26
1	1,34	1,32	1,46
2	1,16	1,36	1,47
5	1,20	1,40	1,49
10	1,35	1,50	1,53
20	1,48	1,47	1,58

I en kanal eller korrigert elevefar må trolig regnes med ørdannelser og kulper slik at $(\frac{k_s}{k_r})^{3/2}$ blir ≤ 1 . Med f.eks. $(\frac{k_s}{k_r})^{3/2} = 0,8$

$$\text{blir } d_m = 10 R_s J$$

og forholdet

$$\frac{\text{nødvendig } d_m \text{ etter M-P}}{\text{nødvendig } d_m \text{ etter "tillatt slepespenning"} } = \frac{10 R_s J}{8 \alpha h J} = 1,25 \cdot \frac{R_s}{\alpha h}$$

blir følgende:

$\frac{b}{h}$	Sideskråninger		
	1 : 0 (rekktangel)	1 : 1,5	1 : 2
0,5	1,0	0,82	1,04
1	1,03	1,01	1,12
2	0,89	1,04	1,13
5	0,92	1,07	1,14
10	1,03	1,15	1,17
20	1,14	1,20	1,21

Den beregnede d_m etter Meyer - Peter synes vanligvis gi større verdier enn d_m beregnet etter "tillatt slepespenning" fra de amerikanske undersøkelser.

Forklaringen ligger antagelig deri at i laboratorie-forsøkene som M-P legger til grunn er benyttet helt løse koheksjonsfrie masser, mens på den annen side grunnlaget for "tillatt slepespenning" er målinger i stabile gamle kanaler. Erfaringer har nemlig vist at kanaler i grove friksjonsmaterialer kan tåle vesentlig større slepespenning enn den kritiske slepespenning målt i laboratorier. Årsaken er

sannsynligvis at i naturen inneholder jordsmonn og/eller ellevann små mengder kolloider og organiske stoffer som har tendens til å binde sammen de kornene grunnen består av på en slik måte at motstanden mot erosjon tiltar. Dessuten kan noe bevegelse av bunnmaterialeneståles uten fare for stabiliteten.

Sammenligningen er forøvrig noe usikker da vi ikke kjerner k_s/k_r og kornfordelingskurvene for de amerikanske undersøkelser.

Det bemerkes at korreksjon for noe forskjell i bunnmaterialenes spesifikke vekter ikke er foretatt. Det benyttede M-P formel etter [4] regner med $2,65 \text{ kg/dm}^2$, mens beregninger etter "tillatt slepespenning" forutsetter en spesifikk vekt = $2,56 \text{ kg/dm}^2$. Forskjellen har imidlertid ikke vesentlig betydning.

Sammenstilling av anvendte betegnelser.

b = bunnbredde av kanal

d = Korndiameter

d_m = midlere korndiameter etter kornfordelingskurve

F = Avløpstverrsnitt

h = Avløpsdybde

J = Energilinjens fall

K = Forholdet $\frac{T_s}{T_L}$

k = Stricklers ruhetstall

k_s = ruhetsverdi for bunnens form og kornstørrelse definert etter Strickler

k_r = tilsvarende for kornstørrelse alene
= $\frac{26}{\sqrt[6]{d_{90}}}$ hvor d_{90} tas fra kornfordelingskurven uten dekkskikt.

n = Mannings n

P = Den våte perimeter

Q = Vassføring

R = Hydraulisk radius = F/P

T_o = Gjennomsnittlig slepespenning eller slepekraft pr. flate-enhet.

T_s = Kritisk slepespenning på kanalside

T_L = Kritisk slepespenning på horisontal kanalbunn.

v = Vannets gjennomsnittlige avløphastighet

w_s = En partikkels vekt neddykket

Z = Cotg. av skråningsvinkelen

= Maksimal slepespenning

$\gamma \cdot h \cdot J$

ϕ = Skråningsvinkel

θ = Friksjonsvinkel

γ = Vannets spesifikke vekt

Litteratur:

[1] Ven Te Chow, Ph.D.: Open - Channel Hydraulics.
McGraw-Hill Book Company, Inc. 1959.

[2] Veröffentlichungen des Eidg. Oberbau inspektorates:
Nomogramme fur gleichförmigen Abfluss inn Gerinnen. Bern 1956.

[3] E.W. Lane og E.J. Carlson: Some Factors Affecting the
stability of Canals Constructed in Course Granular Materials.
Proceedings Minnesota International Hydraulics Convention.
University of Minnesota, Minneapolis 1953.

[4] O. Tronsgaard: Meyer - Peter formelen anvendt for trapes-tverrsnitt, 9. august 1961.

[5] E.W. Lane: Design of stable Channels. ASCE, Transactions,
Paper No. 2776.

.//. Vedlegg: 6 blad skisser.

Trondheim, den 27. juni 1962.


Einar Knutsen

Side skråning

ϕ

45°

1:1

40°

1:1 $\frac{1}{4}$

35°

1:1 $\frac{1}{2}$

30°

1:2

25°

1:2 $\frac{1}{4}$

1:2 $\frac{1}{2}$

20°

1:3

15°

1:4

10°

1:5

5°

0°

Frikjonsvinkel

$\Theta = 45^\circ$

$\Theta = 40^\circ$

$\Theta = 35^\circ$

$\Theta = 30^\circ$

$\Theta = 25^\circ$

$\Theta = 20^\circ$

K-verdier.

0,1

0,2

0,3

0,4

0,5

0,6

0,7

0,8

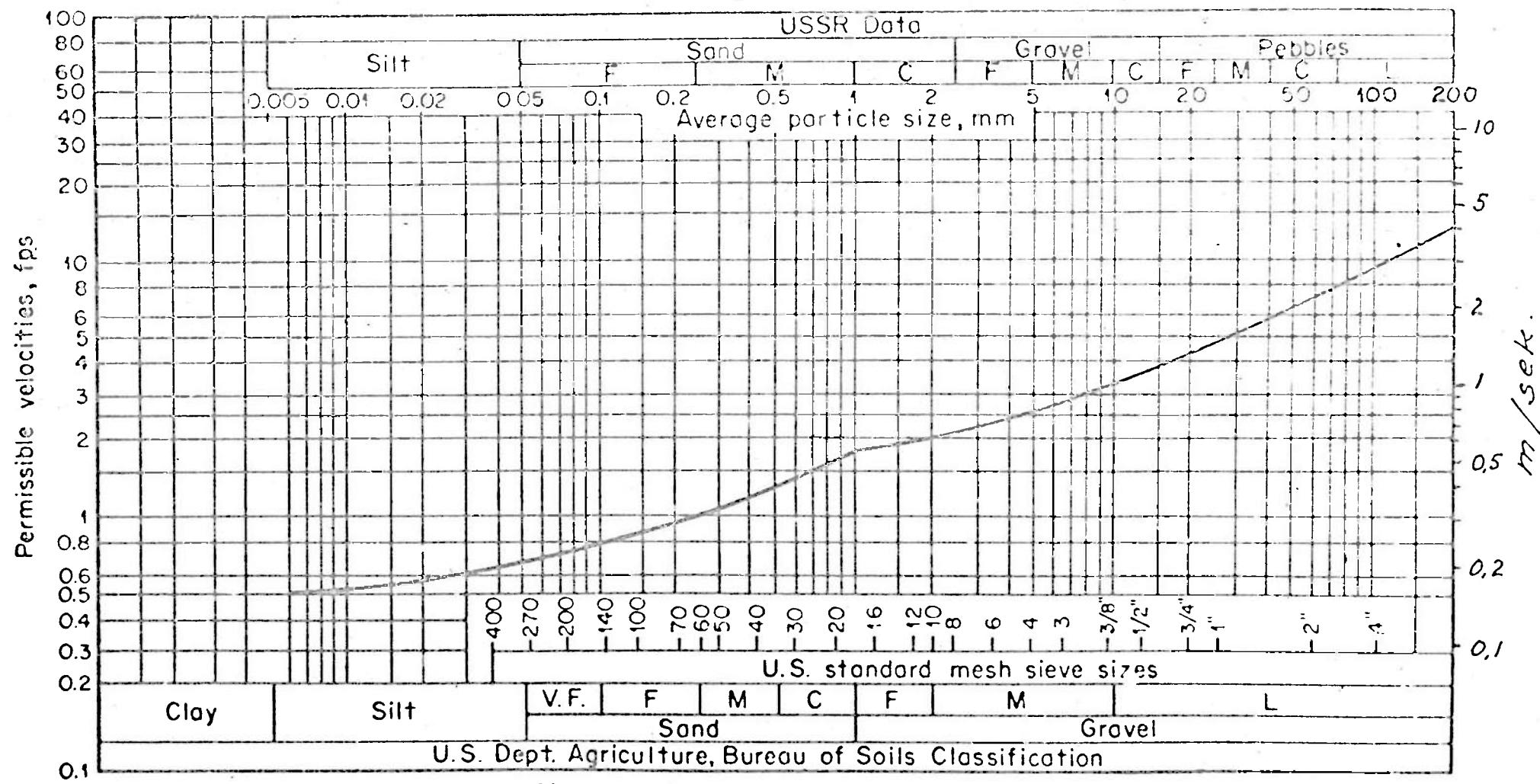
0,9

1,0

Nomogram for ligningen:

$$K = \sqrt{V} \div \frac{\sin^2 \phi}{\sin^2 \Theta}$$

20.4.1961
E.K.



For dy bde = 1m

FIG. 7-3. U.S. and U.S.S.R. data on permissible velocities for noncohesive soils.

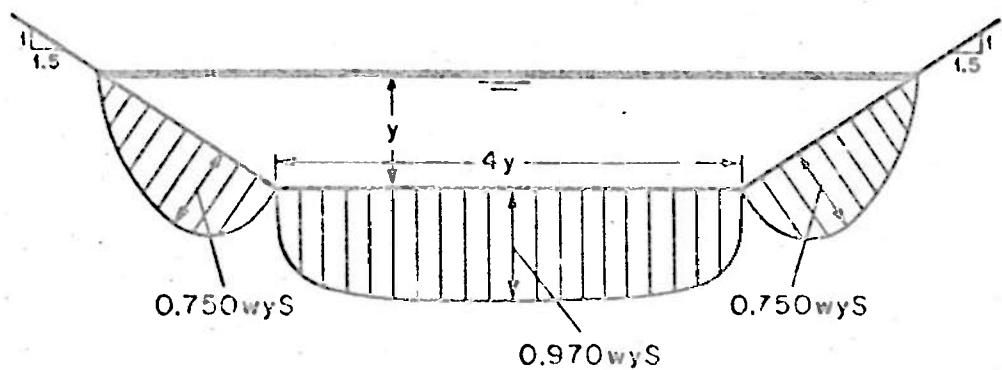


FIG. 7-6. Distribution of tractive force in a trapezoidal channel section.

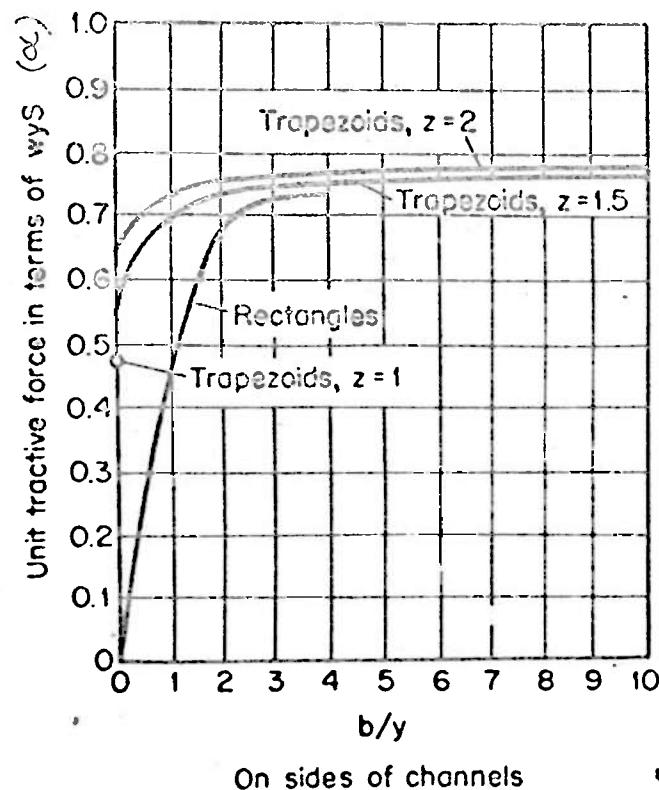


FIG. 7-7. Maximum unit tractive forces in terms of wyS .

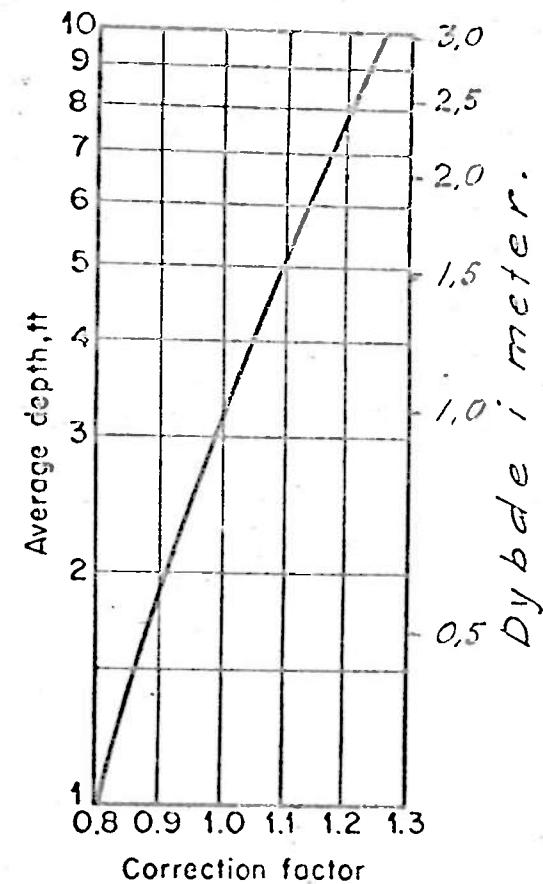
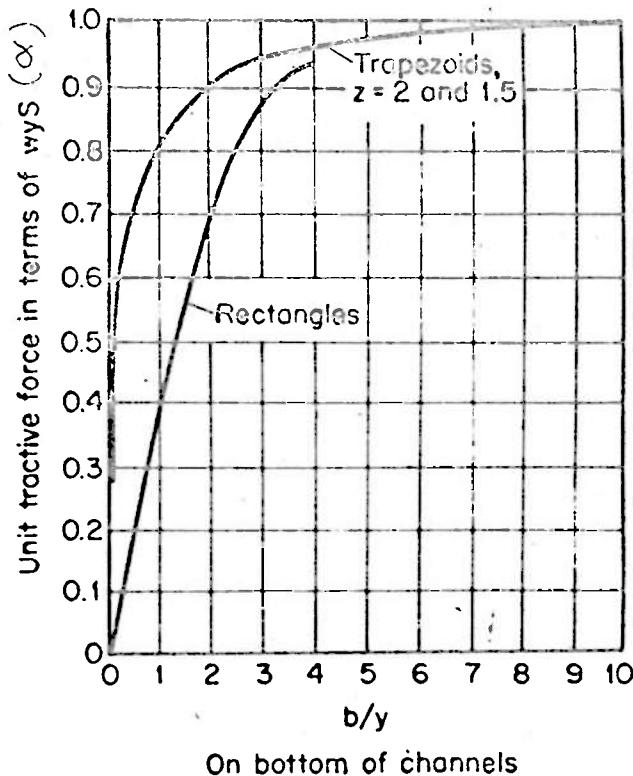


FIG. 7-5. Curves showing U.S.S.R. corrections of permissible velocity for depth for both cohesive and noncohesive materials.

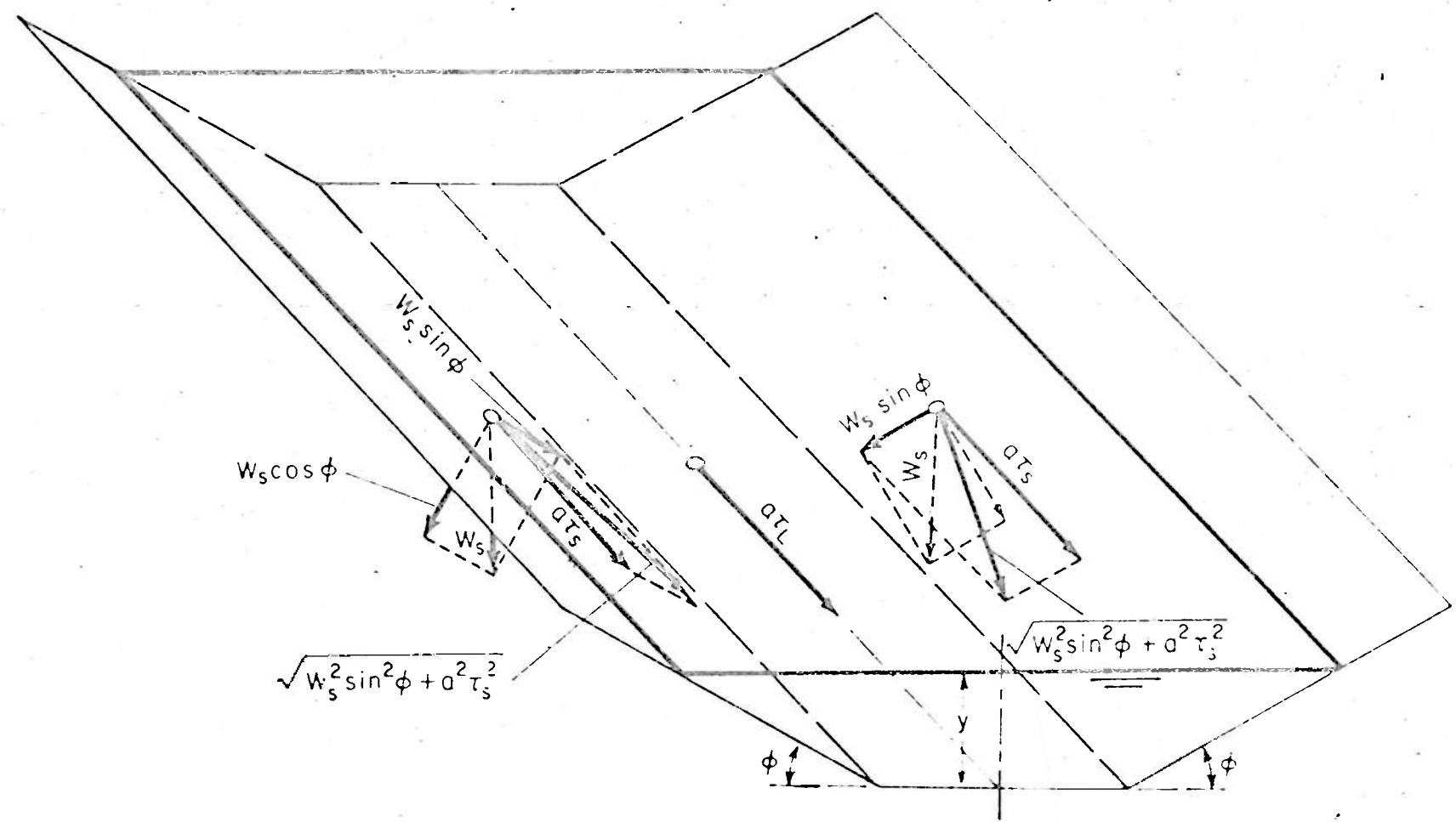


FIG. 7-8. Analysis of forces acting on a particle resting on the surface of a channel bed.

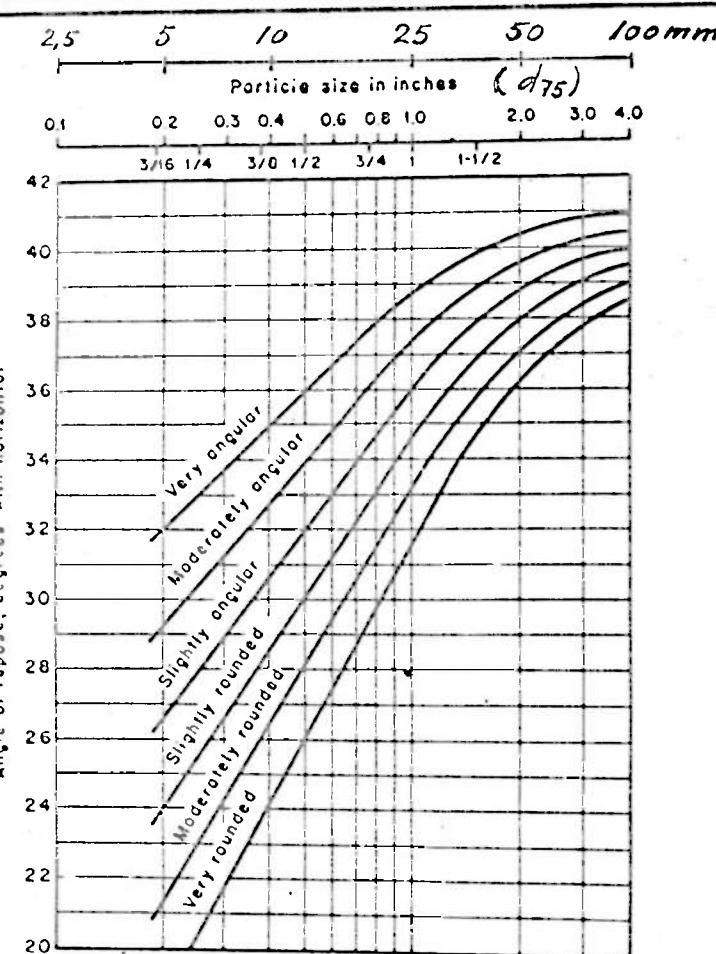


FIG. 7-9. Angles of repose of noncohesive material. (U.S. Bureau of Reclamation.)

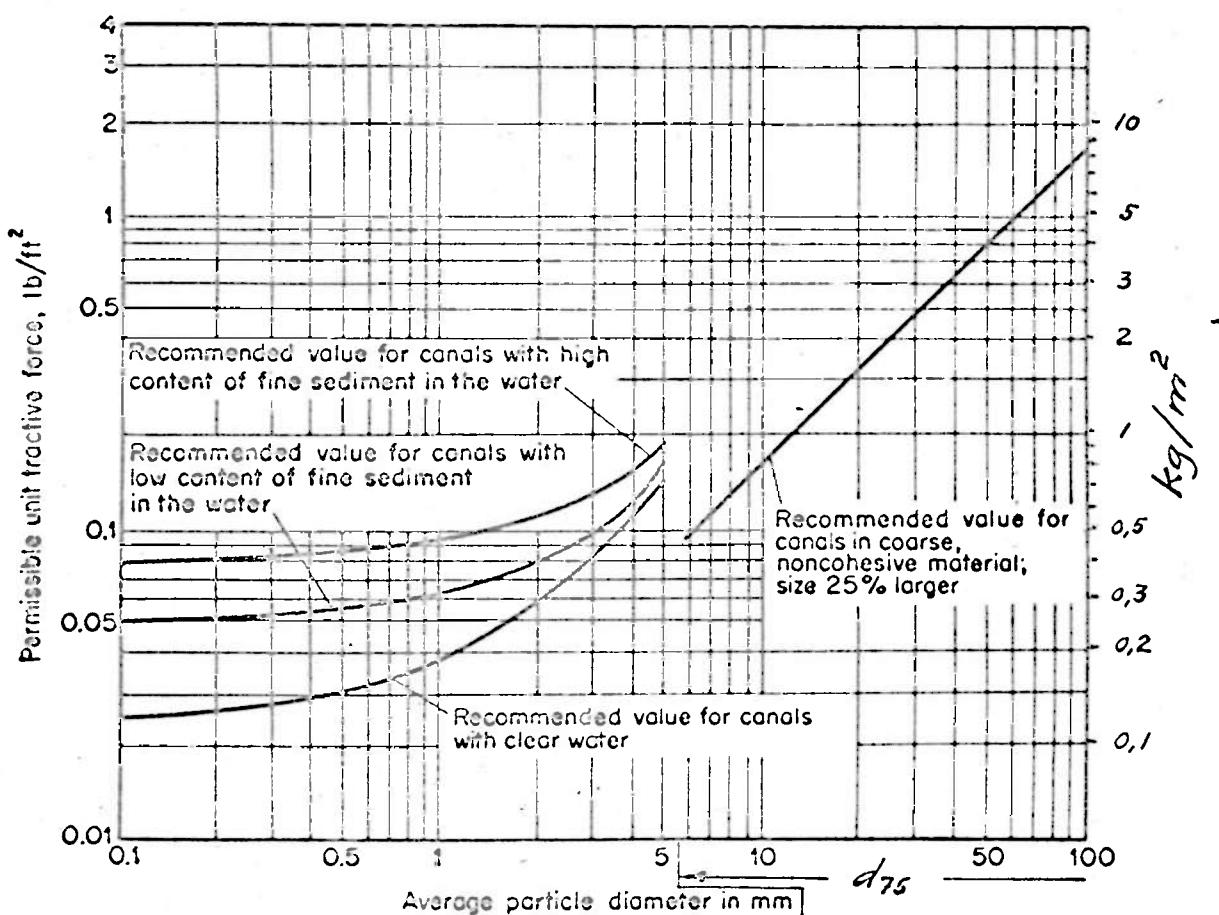


FIG. 7-10. Recommended permissible unit tractive forces for canals in noncohesive material. (U.S. Bureau of Reclamation.)

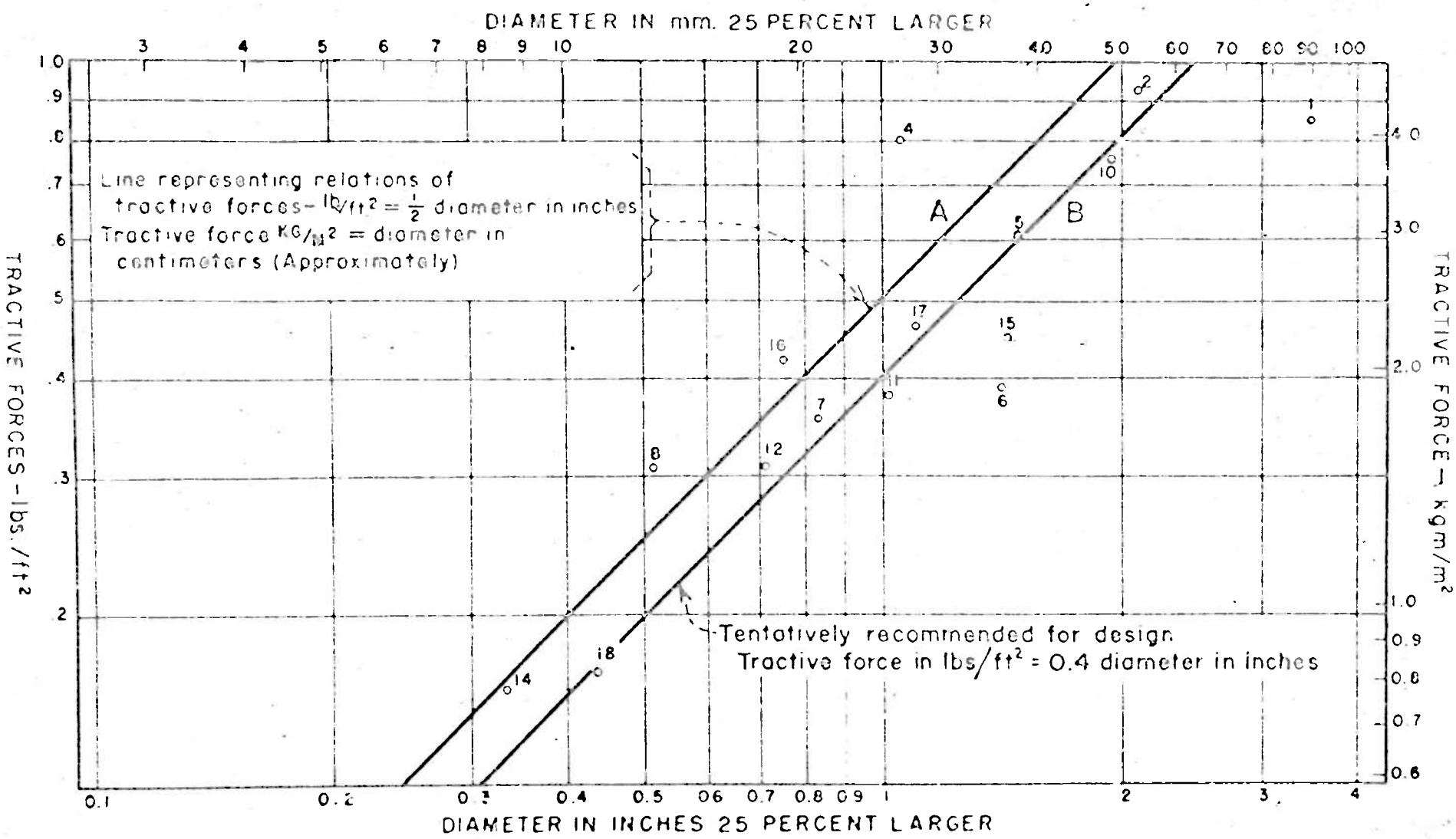


Fig. 8 - Results of studies on San Luis Valley canals.

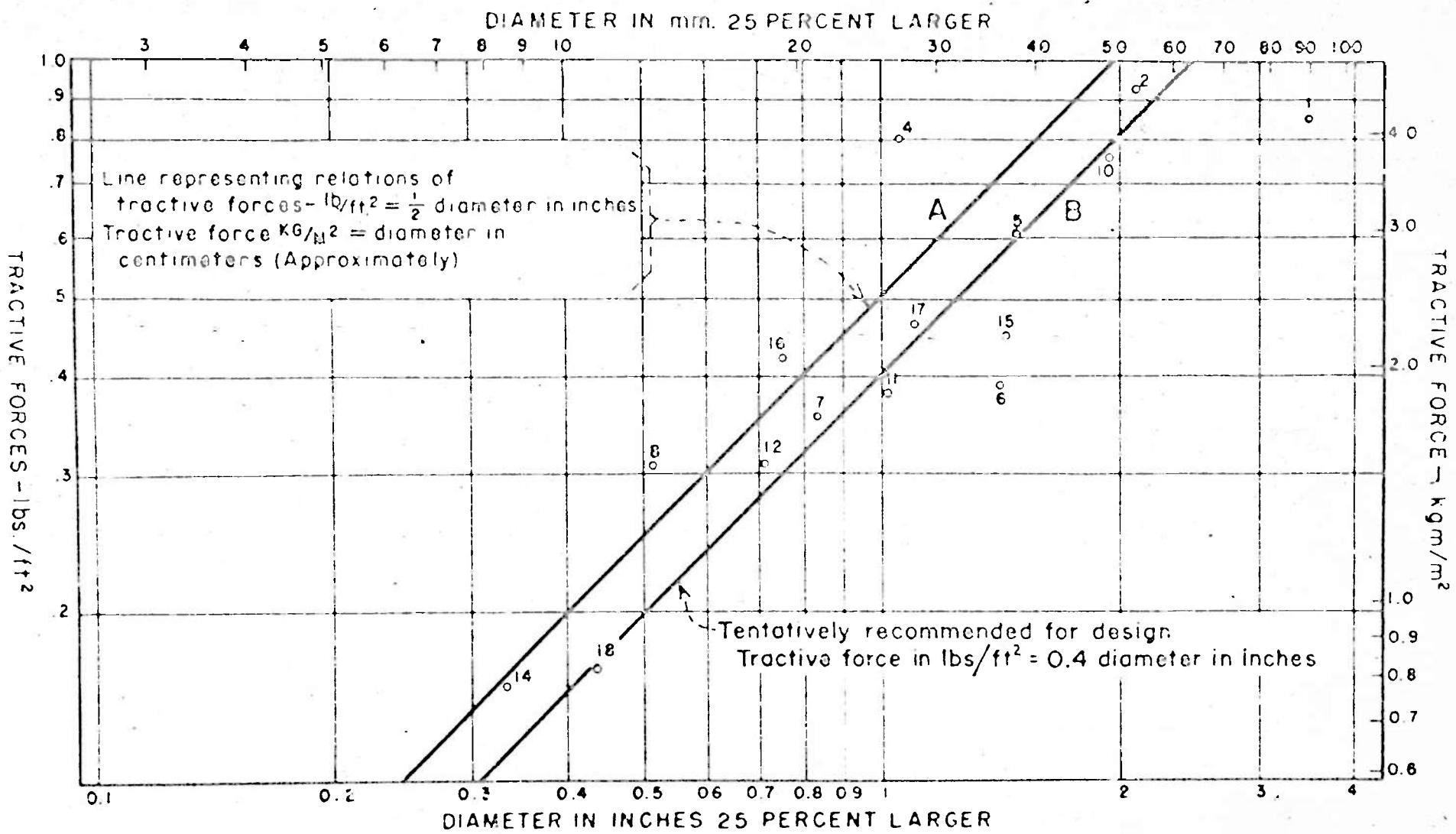


Fig. 8 - Results of studies on San Luis Valley canals.

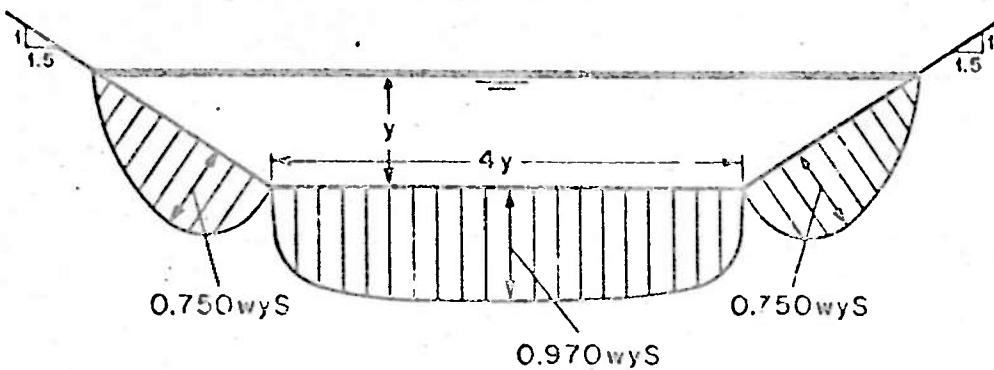


FIG. 7-6. Distribution of tractive force in a trapezoidal channel section.

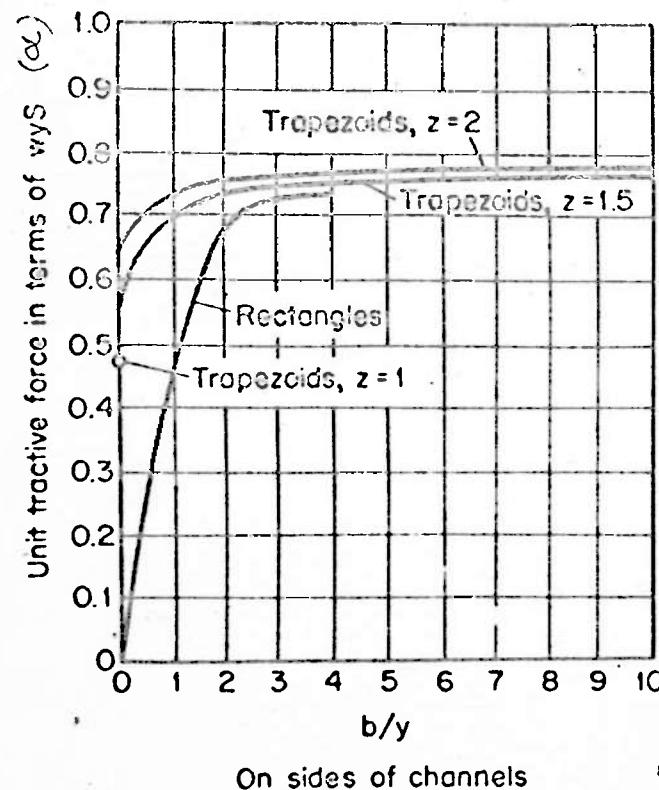


FIG. 7-7. Maximum unit tractive forces in terms of wyS .

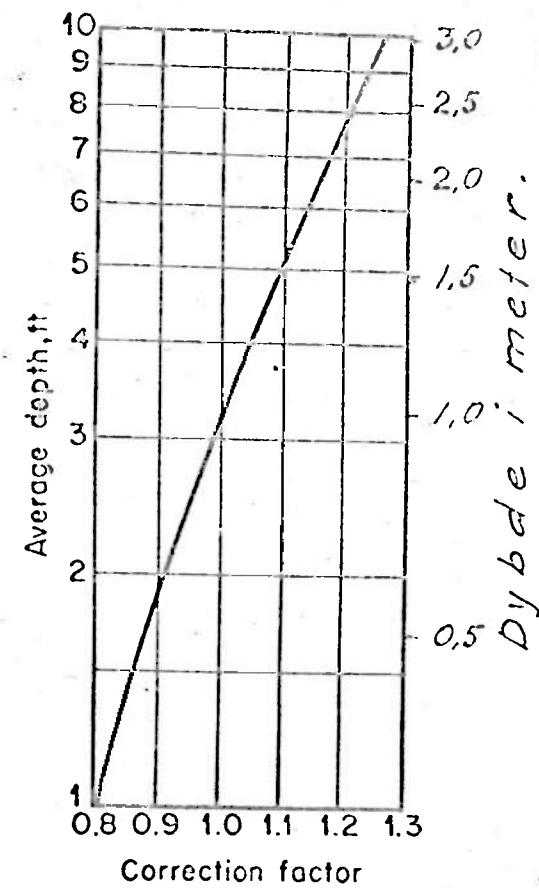
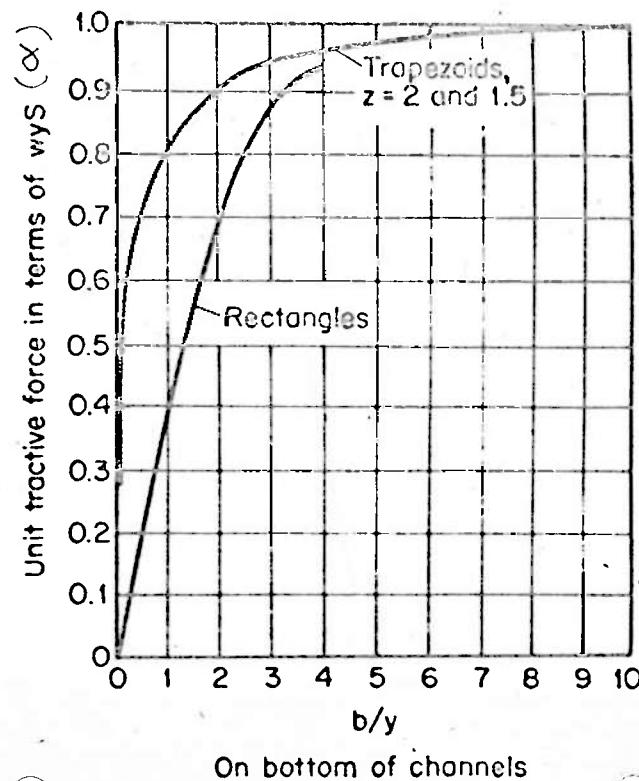


FIG. 7-5. Curves showing U.S.S.R. corrections of permissible velocity for depth for both cohesive and noncohesive materials.