

BŪVMECHANIKA

Pēc prof. Dr. art. ing. E. Veisa Latvijas Universitatē lasītām lekcijām

sastādījis

Arn. Kazaks

L. U. Inženierzinātņu fakultātes subasistents pie dzelzs konstrukciju
un dzelzs tiltu katedras

RĪGĀ, 1939.

L. U. STUDENTU INŽENIERU BIEDRĪBA

Pārdrukāt aizliegts.

Tipo - litogrāfija Ed. Dzenis un E. Cernavs, Rīgā, Nolikšanas ielā 5.

Priekšvārds

Latvijas Universitātes studentu - inženieru biedrība ar šo izdod būvmechanikas lekcijas, lai veicinātu un sek-
mētu studējošo mācības gaitu, sevišķi šinī inženieriem diez-
gan svarīgā priekšmetā, kas grūti padodas pašmācībai. Grā-
matā atspoguļojas manu lekciju skelets, kā tas attēlojas kā-
da apdāvināta un uzcītīga studenta uztverē. Ar to izskai -
drojama īpatnējā, sevišķi pirmā daļā plaša tēlojuma meto-
de, un arī daudzas pamācības, kādas var dot tikai students
studentam.

Rakstu esmu redigējis tiktālu, lai saturs atbilstu kur-
sam, un lai nebūtu nekādas nepareizības. Par formulu un zī-
mējumu pareizību visos sīkumos atbild sastādītājs. Es tos
pārbaudīt nevarēju un arī nevarēju tekstu pārstrādāt tur,
kur man tas likās lietderīgi.

Priecājos, ka šis darbs padarīts. Es tagad lekcijās
varēšu atsaukties uz to, izcelt tikai pašu būtību un runāt
par tām interesantām lietām, kas šeit, telpu trūkuma dēļ, nav
minētas.

Pateicību par lielo veikto darbu izsaku pirmā kārtā sa-
stādītājam, stud.ing. Arnoldam Kazakam, valodas korektoram-
- asistentam būvinž. Jānim Ātrenam un savam asistentam Edu-
ardam Musinovičam, kā arī studentu-inženieru biedrībai un
tās pārstāvjiem. Esmu pārliecināts, ka manai pateicībai pie-
biedrosies visi inženierzinātņu fakultātes studenti, kam šis
darbs nāks par vislielāko svētību.

Rīgā, 1939.g. 25. martā.

J. Keiss

Prof. Dr. art. ing.

Ievērojot L. U. inženierzinātņu fakultātes studējošo vajadzību pēc atbilstošas arodliteratūras latviešu valodā, esmu sastādījis šo būvmechanikas grāmatu. Šim darbam pamatā esmu ņēmis prof. Dr.art.ing. E. Veisa Latvijas Universitatē lasītās lekcijas. Grāmatas saturs atbilst inž.fak. būvmechanikas kursa programai, kas atsevišķās vietās papildināta, piem. nodaļa "Nepārtrauktā sija ar mainīgu kūtrības momentu".

Technisku iemeslu dēļ grāmata sastādīta divās daļās. Sevišķi plaši izstrādāju pirmo daļu, jo sīki noskaidrojot pamata jēdzienus un sniedzot pēc iespējas vairāk paskaidrojumus, lai atvieglotu studentiem sekmīgu būvmechanikas izpratni. Sakarā ar plaši izstrādāto 1. daļu, 2. daļa sastādīta konspektīvāka.

Ļoti pateicos prof. Dr.art.ing. E. Veisa kungam par manuskripta izskatīšanu un par vērtīgajiem aizrādījumiem.

Pie šī darba veikšanas man laipni palīdzēja asistents būvinž. Jānis Ātrens, būvinž. Aleksandrs Dēbels, asistents Eduards Musinovičs, stud.ing. Anatolijs Ščorss, stud.ing. Reinhardis Bieziņš un citi, par ko izsaku viņiem sirsnīgu pateicību.

Rīgā, 1939.g. martā.

Arn. Kazans.

LIETOTĀ LITERATURA:

1. Prof. Dr.art. ing. E. V e i s a lekcijas 1927. - 1938.
2. K r e y - E h r e n b e r g , Erddruck, Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes, 1932.
3. O. M u n d , O. G o l d b e r g , Stützmauern Grundbau, 1936.
4. R. K i r c h h o f f , Statik der Bauwerke I un II, 1928.
5. W. K a u f m a n n , Statik, 1923.
6. O. M a d d i s o n , Tehniline Mehaanika I, 1926.
7. R. O t z e n , Praktische Winke zum Studium der Statik, 1923.
8. H. M ü l l e r - B r e s l a u , Graphische Statik der Baukonstruktionen.
9. "H ü t t e " III. Des Ingenieurs Taschenbuch.
10. M. F o e r s t e r , Taschenbuch für Bauingenieure, 1928.
11. M. F o e r s t e r , Abriss der Statik der Hochbaukonstruktionen, 1920.
12. O. H e n k e l , Graphische Statik I, 1929, un II, 1928.
13. K. G a i l i s , Pielaidumu ietekme (mainīgais J) uz momentu un izlieces lielumu nepārtrauktā sijā.
14. E. S u t e r , Die Methode der Festpunkte.
15. A. S t r a s s n e r , Berechnung statisch unbestimmter Systeme.
16. Beton - Kalender, 1937.
17. Stahlbau - Kalender, 1937.

Satura rādītājs

1. DAĻA

	Lpp.
IEVADS	1.
Spēka jēdziens	1.
Darba jēdziens	2.
Cieta ķermeņa līdzsvara noteikumi	2.
Spēki, kas iedarbojas uz darinājumu	3.
Darinājumu dimenzionēšana un pārbaude	3.
Superpozīcijas princips	4.
Spēku analīze plaknē	4.
Balstīšanas veidi	5.
Dažādu konstrukciju raksturojums	6.
1. Sijas	6.
2. Loki	8.
3. Kopnes	9.
4. Rāmji	10.
MĀCĪBA PAR ZEMES SPIEDIENU	10.
Raksturīgie lielumi pie zemes spiediena aprēķina	11.
Coulomb'a zemes spiediena teorija	12.
Aktīvā zemes spiediena lieluma noteikšana	14.
Grafiskais paņēmieni: Kulmaņa E-līnija	15.
Analītiskie paņēmieni max E noteikšanai	16.
Atsevišķi gadījumi	19.
Pasīvā zemes spiediena lieluma noteikšana	23.
Zemes spiediena pielikšanas punkta atrašana	25.
Atsevišķi gadījumi	29.
Beramo vielu spiedieni tvertnēs un silosos	31.
Atbalsta sienas aprēķins	32.
STATISTIKI NOTEIKTI DARINĀJUMI (PLAKNĒ)	
MĀCĪBA PAR SIJĀM	35.
Vienkāršā sija	36.
Spēka statistiskais moments	37.
Spēku saskaitīšana un sadalīšana plaknē	37.
I. N E M A I N Ī G Ā (P A S T Ā V Ī G Ā)	
S L O D Z E	38.
A. Tiešā slodzēšana ar koncentrētiem spēkiem	38.
Balstu reakcijas	38.
Lieces momenti	39.
Cirpes spēki	41.
Atsevišķi gadījumi	45.
B. Tiešā slodzēšana ar vienmērīgi izklaidētu slodzi	47.
C. Netiešā slodzēšana ar koncentrētiem spēkiem	50.
D. Netiešā slodzēšana ar vienmērīgi izklaidētu slodzi	52.
Sakarības starp slodzi q , cirpes spēku Q , lieces momentu M , izlieces lēņi φ un izlieci y	53.
II. M A I N Ī G Ā (K U S T Ī G Ā) S L O D Z E	58.
Slodžu schemas	58.
Normu vilcienu slodžu schemas	58.

	Lpp.
Normu automobiļu un velteņu slodžu schemas	59.
Balstu reakciju un lielāko cirpes spēku ($\max_{\min} Q_p$) atrašana kādā sijas šķēlienā. zem. slo- dzes schemas pirmā spēka	60.
1. Analitiskais paņēmieni. Analitis - kais paņēmieni ar tabulu palīdzību	60.
2. Grafiskais paņēmieni. A-poligons	61.
Balstu reakciju un lielāko cirpes spēku ($\max_{\min} Q_p$) atrašana pie vienmērīgi izklaidētās mainīgās slodzes	64.
Balstu reakciju un lielāko cirpes spēku ($\max_{\min} Q_p$) atrašana pie netiešās slodzēšanas	65.
I. Vienmērīgi izklaidētā slodze	65.
II. Koncentrētā slodze	67.
Lielāko lieces momentu ($\max M_p$) atrašana sijas šķēlienos pie kustīgām koncentrētu spē- ku schemām	69.
$\max M_p$ atrašana grafiski	69.
Atsevišķs vienkāršāks gadījums	70.
Bīstamā spēka noteikšana dotam šķēlie- nam	72.
A. Grafiskais, Weyrauch'a paņēmieni	72.
B. Analitiskais paņēmieni - Scheff- ler'a kriterijs	73.
$\max M_p$ atrašana analitiski. Tabulas. Diagramas	74.
$\max \max M_p$ atrašana analitiski	75.
IETEKMES LĪNIJAS	77.
Jēdzieni	77.
Ietekmes līnijas salīdzinājumā ar dia- gramām	79.
VIENKĀRŠĀS SIJAS IETEKMES LĪNIJAS	80.
Balstu reakciju ietekmes līnijas	80.
Cirpes spēku ietekmes līnijas pie tiešās slo- dzēšanas	81.
Ietekmes līnijas pie netiešās slodzēšanas	82.
Cirpes spēku ietekmes līnijas pie netiešās slo- dzēšanas	83.
Lieces momentu ietekmes līnijas pie tiešās slo- dzēšanas	83.
Lieces momentu ietekmes līnijas pie netiešās slodzēšanas	84.
Konsole	85.
Konsoles balsta reakcijas, lieces momenti un cirpes spēki	86.
Konsoles ietekmes līnijas	87.
Vienkāršā sija ar konsolēm	88.
Lieces momentu un cirpes spēku diagramas sijai ar konsolēm	88.
Sakarības starp lieces momentiem un cirpes spē- kiem vienkāršai sijai un sijai ar konsolēm	90.
Konsolsija (Gerbera sija)	93.
Konsolsijas balstu reakcijas, lieces momenti un cirpes spēki	95.
Konsolsijas ietekmes līnijas	96.
Balstu reakciju ietekmes līnijas	96.
Cirpes spēku ietekmes līnijas	99.

Lieces momentu ietekmes līnijas	Lpp. 100.
Konsolsijas Q un M diagramas	101.
MĀCĪBA PAR SPRIEŠLIEM (LOKIEM)	102.
Ievads	102.
Trīslocīklu loks	104.
Nemainīgie koncentrētie spēki, kas darbojas dažādos virzienos	104.
Balstu reakciju K_A un K_B atrašana	104.
Spiediena līnijas atrašana	105.
Spriegumu atrašana loka šķēļienos	105.
Trīslocīklu loks ar nemainīgu vertikālu slodzi	107.
Grafiskais paņēmieni	107.
Analitiskais paņēmieni	107.
Trīslocīklu loka ietekmes līnijas	109.
Iespilēta spriešļa (loka) tuvins aprēķins	112.

2. DAĻA

MĀCĪBA PAR KOPNĒM	1.
I e v a d s	1.
Spēku aprēķināšana stieņos	3.
Kremona paņēmieni	3.
Kulmaņa paņēmieni	6.
Aug. Rittera paņēmieni	7.
Ietekmes līnijas	8.
Atsevišķi gadījumi	13.
Ietekmes līniju zīmēšana ar Kremona plāna palīdzību	15.
Cimmermaņa paņēmieni	16.
Diagonalstieņu (D un V) spēku noteikšana ar A-poligona palīdzību	17.
Analitiskais aprēķins	18.
Atsevišķas kopnes	23.
Kopne ar paralelām joslām	23.
Dažas seno laiku kopnes	24.
Kopne ar papildu stieņiem	25.
K-veidīga kopne	28.
Gerbera sistēmas kopne	31.
Trīslocīklu spriešļa (loka) kopne	34.
Trīslocīklu spriešļa (loka) kopne ar kustīgo slodzi	35.
Statiskas noteiktības kritērijas	37.
Langeras sijas, resp. kopnes	40.
1. Langeras sija ar loku augšā	41.
2. Langeras sija ar loku augšā un ar kopni kā stingrinātāju siju	44.
3. Langeras sija ar loku apakšā un ar kopni kā stingrinātāju siju	45.
Karājoši tilti	48.
Karājošs tilts, stingrināts ar siju	48.
Kopņu kinematiskā teorija	50.
Mainīgās un nemainīgās figūras pazīmes	57.
Pamatizteiksmes $\sum Q.c = 0$ noteikšana	54.
Spēku stieņos un ietekmes līniju aprēķināšana ar pamatizteiksmes $\sum Q.c=0$ palīdzību	55.
Rombveidīgā kopne	60.
Novēcojušas konstrukcijas kopnes	64.
Hau (Howe) sistēmas kopne	65.

	Lpp.
STATISKI NENOTEIKTI DARINĀJUMI (RLAKNĒ)	65.
Veidmaiņu paņēmiens	68.
Mohra teorija (Grafiskā aplēse)	70.
Nepārtrauktā sija	74.
Trīsmomentu jeb Klapeirona nolīdzinājumu no - teikšana	75.
Trīsmomentu nolīdzinājuma piemērošana praksē	78.
Cirpes spēki un balstu reakcijas	79.
Diagramas un ietekmes līnijas	81.
J un K grafiskā atrašana	82.
Rittera punktu konstruēšana	84.
Balstu momentu noteikšana ar krustlīniju pali- dzību	85.
Momentu diagramas grafiskā konstrukcija . . .	86.
Balsta momentu ātra atrašana, ja nemainīga slodze	87.
Lieces momentu ietekmes līnijas	88.
Balstu reakciju un cirpes spēku ietekmes līnijas	90.
Ietekmes līniju analītisks aprēķins	92.
Nepārtraukta sija ar mainīgu kūtrības momentu	95.
1. Aprēķina gaita, uzskatot siju kā ne- pārtrauktu uz 4 balstiem, ar nemi- nīgu kūtrības momentu visos laidumos	96.
2. Aprēķina gaita, uzskatot siju kā ne- pārtrauktu uz 4 balstiem, ievērojot aprēķinā sijas kūtrības momenta mai- nu	100.
MĀCĪBA PAR IESPĪĒTU SPRIESLI (LOKU)	110.
Veidmaiņas nolīdzinājumi	110.
Prof. Dr.ing. E. Mörsch'a metode	114.
Darba paņēmiens	121.
Darba nolīdzinājumi	122.
1. Pilnsieniņu darinājums	122.
2. Kopne	124.
Darba nolīdzinājumu pielietošana	124.
Kopnē	124.
Kopnes izlieces aprēķins	125.
Darba nolīdzinājumu pielietošana statistiski no- teiktu lielumu atrašanai	128.
1. Kopne	128.
2. Darinājums ar pilnu sienību	130.
Pārvietojumu savstarpīgums-Maxwell - - Mohr'a princips	131.
Castigliano paņēmiens	133.
1. Pārvietojumu noteikšana ar Castig- liano paņēmienu	133.
2. Statiski nenoteiktu lielumu atraša- na ar Castigliano paņēmienu	136.
Pārvietojumu noteikšana pilnsieniņu darinājumam	137.
RĀMJU KONSTRUKCIJAS	139.
Tuvins aprēķins ar Klapeirona nolīdzinājumu .	139.
Četrmomentu nolīdzinājums	141.
VIERENDEEL KOPNE (Sija)	146.
NOLĪDZINĀJUMU ATSLĒGŠANAS METODES	147.
KOPNES TELPĀ	147.

BÜVMECHANIKA

1. DAĞA

I E V A D S.

Katram būvdarinājumam kā visumā, tā atsevišķās daļās, jābūt izturīgam un drošam. Būvmechanikas uzdevums ir aprēķina ceļā noteikt katram būvelementam drošības un izturības prasībām atbilstošas dimenzijas. Lai to panāktu, pirmā kārtā jānoskaidro ārējie spēki, kas iedarbojas uz darinājumu, un pēc tam nosaka ārējo spēku izsauktos iekšējos spēkus vai piepūles un deformācijas. Izejot no iekšējiem spēkiem un deformācijām, darinājumam vai tā daļām piedod tādas dimenzijas, kas spēj šos spēkus uzņemt, nepārsniedzot kādu iepriekš noteiktu piepūļu robežu.

Iekšējo spēku izsauktie spriegumi - piepūles nedrīkst pārsniegt darinājuma būvmaterialam pielaižamās piepūles un arī darinājuma un tā atsevišķo elementu deformācijas (izliece, pagarinājumi u.t.t.) nedrīkst pārsniegt pielaižamās robežas. Vēl jāievēro arī ta ut s a i m n i e c i s k s v i e d o k l i s : jāpanāk pietiekoši izturīgs darinājums ar mazu darba spēka un būvmateriala patēriņu. Tāpat jāizkopj darinājuma a i s t e t i s k a i s i z s k a t s . Darinājuma aistētisku izskatu labvēlīgi ietekmē atzinums, ka visa darinājuma, kā arī tā daļu dimenzijas pieskaņojamas ārējiem un iekšējiem spēkiem, kas šinī sistemā darbojas.

Būvmechanikas uzdevums ir noteikt darinājumā vai tā atsevišķās daļās ārējo spēku izsauktos iekšējos spēkus un deformācijas, kā arī vispārējo stabilitāti. Darinājumā spēku iedarbībā valda līdzsvars. Jāpārzin visi ārējie spēki, kas darbojas uz būvdaļu un jānosaka, kā sadalās iekšējie spēki būvē. Šo būvmechanikas uzdevumu atrisināšanai pielieto grafiskās un analitiskās metodes, bieži arī abas kopā.

GRAFISKĀ METODE.

Šveices profesors K. Kulmanis (Karl Culmann - 1821-1881) lika pamatu grafiskai statikai (1864.)

Grafiskās metodes priekšrocības: 1) ir pārskatāma, katrā laikā dod iespēju redzēt spēku darbību, 2) grūtāk kļūdities - kļūdas tūlīt redz, 3) dažreiz grafiskās metodes dod atbildi uz jautājumu, ko nevar vai neprot atrisināt analitiski.

Grafiskās metodes trūkumi: 1) nevar atrisināt visus jautājumus, un tas iespējams tikai tad, ja zināmas analitiskās izteiksmes, 2) rezultāta noteiktība atkarājas no zīmēšanas precizitātes. Laba zīmētāja kļūdas paliek robežās 0,5 + 2 %. Kļūdas lielumu ietekmē zīmējuma mērogs: jo tas lielāks, jo sasniedz precīzākus rezultātus.

ANALITISKĀ METODE.

Pie šīs metodes izdarītas kļūdas nav tik viegli saredzamas, bet bieži vien ir ērtāk un precīzāk uzdevumu atrisināt analitiski.

Spēka jēdziens

1. Spēks ir deformāciju cēlonis (no statikas un stiprības mācības viedokļa)

$$\sigma = \frac{P}{F} = \epsilon \cdot E ; \quad P = \sigma \cdot F \quad \epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \sigma \cdot \frac{1}{E} = \sigma \cdot \alpha$$

P - spēks, kilogramos vai tonnās.

2. Spēks ir kustības virziena maiņas vai paātrinājuma cēlonis (no dinamiskā viedokļa).

Šis spēka jēdziens ir no Ņutona mehanikas pamatprincipiem.

$$P = m \cdot j = m \frac{dv}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

P - spēks
m - masa
j - paātrinājums

Ir problemas, kur bez jēdziena "m a s a" nevar iztikt, bet tādu nav daudz. Otrs lielums ir "l a i k s". Šis lielums būvstatikā nav svarīgs, jo tur galvenais ir: d e f o r m a c i j a s vai p ā r v i e t o j u m a g a l ē j a i s r e z u l t a t s.

Nav svarīgi, kādā laikā sprīdī šī deformācija vai pārvietojums noticis.

Tagad moderni inženieri sāk vairāk domāt dinamiski. D'A l a m b e r t 1743.g. apzīmējis Ņutona principu šādi:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} - P = 0, \text{ kur } P \text{ ir spēks.}$$

No šī nolīdzinājuma var atrisināt līdzsvara noteikumu. Še ir darīšana ar bezgalīgi maziem pārvietojumiem "x". Kustība saskaņota ar matematiskiem likumiem: pirms kustības izdarīšanas darinājuma materiālu punktu kopojumi seko zināmam matematiskam likumam un pēc kustības atkal būtu tāds pats sakars (koordinatēs). Šī kustība ir bezgalīgi maza salīdzinot ar darinājuma dimenzijām un saucas par i e s p ē j a m o j e b v i r t u e l o k u s t ī b u j e b p ā r v i e t o j u m u. Pārvietošanās laikā darinājums nemaina savu formu. Apskata niecīgus pārvietojumus, tuvus nullei.

Darba jēdziens

Darbs = spēks x ceļš.

Turpmāk pie darba pagēmiena būs runa par darbu, ko izdara iekšējie spēki stienī, kad tas zom šo spēku ietekmes deformējas, kuru var attiecināt uz maziem vai bezgalīgi maziem pārvietojumiem.

$$A = \sum_{i=1}^{i=n} (X_i \cdot \partial x_i + Y_i \cdot \partial y_i + Z_i \cdot \partial z_i) = 0$$

Ir gluži vienalga, vai pārvietojuma iemesls ir šis pats spēks, kas dara darbu, vai kāds cits spēks. Še jāsaprot kā ārējie, tā iekšējie spēki, kas iedarbojas uz darinājumu. Ja šie spēki līdzsvarā, tad darba sumu pielīdzina nullei, t.i. pie

$$\sum_{i=1}^{i=n} X_i = 0, \quad \sum_{i=1}^{i=n} Y_i = 0, \quad \sum_{i=1}^{i=n} Z_i = 0$$

Šo nolīdzinājumu atradis B e r n u l l i (Joh. Bernoulli). Tas spēkā tādā gadījumā, kad ķermenis kustas taisnā virzienā. Ja tas kustas pa līkni, tad šo kustību var sadalīt divās kustībās: pārvietojumā pa taisni un griešanās par zināmu leņķi

$$\partial x_i = \partial \omega_2 \cdot z_i + \partial \omega_3 \cdot y_i$$

Šinī gadījumā spēku līdzsvars būs tad, ja: 1) $\sum M_{x_i} = 0$, 2) $\sum M_{y_i} = 0$, 3) $\sum M_{z_i} = 0$, 4) $\sum x_i = 0$, 5) $\sum y_i = 0$ un 6) $\sum z_i = 0$.

Spēku darbu suma pie virtuela pārvietojuma ir 0 (nulle). Jeb: ārējo spēku darbs = iekšējo spēku darbam tad, ja spēki līdzsvarā un ja tie izsauc ļoti mazu vai bezgalīgi mazu virtuelu pārvietojumu. Tāds ir virtuela darba princips.

Pie statiski noteiktām konstrukcijām iztieks ar statiskiem līdzsvara noteikumiem, bet pie statiski nenoteiktām konstrukcijām jāņem palīgā vai nu deformāciju pagēmiens, vai šis virtuelā darba princips. Par statiski nenoteiktām konstrukcijām runa būs tālāk.

Cieta ķermeņa līdzsvara noteikumi

Augstāk teikts, ka spēkiem telpā ir 6 līdzsvara noteikumi (analitiski): 1) $\sum M_x = 0$, 2) $\sum M_y = 0$, 3) $\sum M_z = 0$, 4) $\sum X = 0$, 5) $\sum Y = 0$ un 6) $\sum Z = 0$, kur X, Y un Z ir spēku projekcijas uz 3 asīm (telpā).

Spēkiem plāknē ir 3 līdzsvara noteikumi:

$$1) \sum X = 0, \quad 2) \sum Y = 0 \quad \text{un} \quad 3) \sum M = 0.$$

Plāknes līdzsvara noteikumus var uzrakstīt arī šādi:

$$1) \sum X = 0, \quad \sum M_1 = 0, \quad \sum M_2 = 0, \quad \text{vai arī}$$

1) $\sum M_1 = 0$, 2) $\sum M_2 = 0$ un 3) $\sum M_3 = 0$, ar noteikumu, ka punkti, uz kuriem attiecināti šie momenti, nedrīkst būt uz vienas taisnas.

Ja visi spēki krustojas vienā punktā, tad paliek: 1) $\sum X = 0$ un 2) $\sum Y = 0$.

/SPĒKI, KAS IEDARBOJAS UZ DARINĀJUMU. /

I. Pēc iedarbes veida spēkus šķiro divās grupās: 1) *p a s t ā v ī g i e* (nemainīgie) un 2) *m a i n ī g i e* spēki. Pastāvīgie spēki iedarbojas uz darinājumu vienmēr, piem. pašsvars. Pastāvīgie spēki nemaina pielikšanas punktu. Mainīgie spēki maina iedarbes vietas darinājuma robežās (piem. kustīgie priekšmeti, kas pārvietojas). Mainīgie spēki var būt vēl: a) *n o t e i k t i s p ē k i* (noteikta lieluma svars uz katru spēka mašīnas vai vilciena asi) un b) *s c h e m a t i s k i s p ē k i* (slodzes schemas zinama lieluma caurmēra svars uz asi). Kā pastāvīgie, tā arī mainīgie spēki var iedarboties sekojoši: a) *k o n c e n t r ē t i* un b) *i z k l a i d ē t i*. Koncentrēti spēki ir pielikti atsevišķos punktos. Izklaidēti spēki darbojas uz darinājuma zinamu virsmas laukumu. Ja spēki viscaur iedarbojas ar vienādu intensitāti, tad tos sauc par *v i e n m ē r ī g i i z k l a i d ē t i e m* spēkiem. Vispārīgi būvmechanikā var lietot "s p ē k a" vietā "s l o d z e". Darinājuma pašsvaru var uzskatīt kā pastāvīgu (nemainīgu) izklaidētu slodzi. Pašsvars atstāj ievērojamu iespaidu uz būves dimenzionēšanu, un pie lielākām būvēm tas ir arī noteicošais. Pie ļoti lielām būvēm mainīgās slodzes ietekme var būt niecīga, salīdzinot ar pašsvara ietekmi. Pūļa slodzi var uzskatīt zināmā momentā par pastāvīgu, t.i. nekustīgu. Vēja, sniega un ūdens spiedienu vērtības parasti pieņem pēc oficiālām normām vai uz piedzīvojumu pamata un pieskaita *l i e t d e r ī g ā m s l o d z ē m*. Slodzes vēl var darboties *t i e š i* un *n e t i e š i*. Slodze darbojas tieši, kad tās pielikšanas punkts atrodas tieši uz noslodzēta elementa un netieši, kad slodzes ietekmi pārnes uz elementu ar kādu citu darinājuma starpelementu. Par tādām būs runa turpmāk.

II. Spēkus vēl šķiro: 1) *ā r ē j o s* un 2) *i e k š ē j o s* spēkos.

Ā r ē j i e s p ē k i: slodzes (schematizētas), pašsvars u.c., kas principā jau dotas, un pašsvars, kas jāatrod.

I e k š ē j i e s p ē k i: tos izsauc ārējie spēki darinājumā vai tā daļās.

III. Dažreiz spēkus vēl šķiro šādi: 1) *a k t i v i e s p ē k i* (slodzes u. t.t.) un 2) *p a s i v i e s p ē k i*, kas darbojas pretīm šiem aktīviem spēkiem, radot līdzsvaru (piem. balsta reakcijas u.t.t.)

Būvzinģenierim jānodarbojas visvairāk ar mainīgiem spēkiem, arhitektiem atkal ar pastāvīgiem spēkiem, lietderīgām slodzēm. Ar visiem faktiskiem apstākļiem spēku iedarbē nevar rēķināties. Bieži jālieto schematizēti spēki - slodzes schemas. Jāņem vidējais vai maksimālais iespējamais satiksmes līdzekļa veids, pēc kā izstrādā schemu; pieņem tam lielākus, noapaļotus spiedienus, kurus šis vidējais satiksmes līdzeklis rada. Slodzi nosaka atkarībā no apstākļiem. Faktisko pašsvaru nosaka vidēji, pieņemot noapaļojumus. Arī tilpuma svars svārstās zināmās robežās, tam ņem augstāko vidējo, bet ne visaugstāko. Parasti visas šemas un slodzes ir sakopotas normās. Nosakot normas, nav jārēķinājas ar nejaušu maksimumu, bet tikai ar drošības ziņā pietiekošu vērtību. Tas attiecas arī uz pašsvaru. Pašsvaru precīzi nosaka pēc dimenzijām. Iepriekšējai pašsvara noteikšanai dažkārt lieto dažādas empiriskas sakarības. Maznozīmīgos darinājumos pašsvaru un mainīgās (lietderīgās) slodzes pieņem pēc vispārējām normām, rokas grāmatām vai taml., lielākos darinājumos, turpretīm, individuāli jāpārbauda visi apstākļi un jātaisa konkrētiem gadījumiem atbilstoši pieņēmumi, uz kuru pamata nosaka slodzes.

Darinājumu dimenzionēšana un pārbaude

Pēc atrastiem spēkiem un pielaižamām piepūlēm aprēķina darinājumam nepieciešamās dimenzijas (piem. J, W, F) vai arī tos pieņem bez sīkāka aprēķina, uz piedzīvojumu pamata. Šis ir *d i m e n z i o n ē š a n a s g ā j i e n s*. Pēc tam šis dimenzijas pārbauda, aprēķinot spriegumus. Šis ir *p ā r b a u d e s g ā j i e n s*. Ja pārbaudes gājieni noskaidro, ka dimenzijas ir par mazām (nedroša būve) vai par lielām (ieguldīti lieki materiāli), tad izved dimenzionēšanu no jauna - *p ā r d i m e n z i o n ē* un tad atkal pārbauda. Tā dara, kā mēr rezultāti apmierinoši.

Pie statistiski noteiktiem darinājumiem dimenzijas var atrast no sakarības:

$$\delta = \frac{M}{W} \leq \delta_{adm} \quad \text{nec} \quad W = \frac{M}{\delta_{adm}}; \quad \text{zinot } M \text{ un } \delta_{adm}, \text{ var atrast vajadzīgo prete-$$

stības momentu un līdz ar to arī darinājuma dimenzijas. Pēc galīgo dimenziju pieņemšanas

vēl aprēķina faktiskos spriegumus. Faktiskais spriegums nevar būt lielāks par pielaižamo.

Katram projektam jāpievieno paskaidrojumu raksts, kura vienā daļā ir īss būves apraksts, bet otrā daļā - pārbaudes aprēķini. Piemēram pie tilta projekta apraksta - grunts apstākļus, balstus, brauktuvi, kopnes, vēja saites u.t.t. Vēl aizrāda, kādi būtu projektējamai būvei pielietojami būvmateriāli un būves celšanas veids. Statisko pārbaudes aprēķinu sadala apmēram šādi:

1. Pārskats par slodzēm: piem. dzelzceļa tiltam vilciena schema, vēja spiediens u.t.t.
2. Pašsvars, pieņemti tilpuma svāri. pielietotiem būvmateriāliem: zeme, koks, betons, būvtērauds u.t.t.
3. Pielaižamie spriegumi, pielietotas sakarības, pieņemti lielumi dažādiem reizinājumiem, koeficienti (piem. pārbaudot uz lodzi) u.t.t.
4. Spēku aprēķini. Atsevišķo daļu pārbaude. Aprēķinot kādu darinājumu, parasti jāiet pretējā virzienā kā būvē. Civilbūvniecībā sāk aprēķināt no jumta, pāriet uz stabiem, griestiem, sienām, līdz kāmēr nonāk līdz pamatiem. Tā sumējas visas slodzes, kas jāuzņem pamatnei. Tiltiem sāk ar brauktuvi. Katra ārējā slodze izsauc vispirms atbalstu reakcijas, kas pirmā kārtā jānosaka; tikai tad var analizēt iekšējos spēkus. Pēc iekšējiem spēkiem nosaka spriegumus. Zinot tos, var dimenzionēt un pārbaudīt būvi, vai tā ir pietiekoši droša, kā arī vai materiāls nav lietots par daudz izšķērdīgi.

Tā ka grūti vai pat neiespējami noteikt visus darinājuma iekšējos spēkus, tad pielieto drošības reizinājumus, ar ko palielina atrastos iekšējos spēkus, vai samazina pielietotā būvmateriāla pielaižamos spriegumus, parasti pielieto beidzamo paņēmieni. Drošības reizinājuma lielums atkarājas arī no paša būvmateriāla, t.i. par cik tas ir viengabalains un nemainīgs savās īpašībās. Tāpat drošības reizinājums un, līdz ar to, pielaižamie spriegumi mainās atkarībā no būvē ielikta darba kvalitātes. Dabīgo materiālu uzbūvē var gadīties nejaušības, tāpēc šeit prasa lielāku drošību (piem. koks). Daļām, kurās apstrādā vienādos apstākļos (piem. telpās), var pielaist mazāku drošības reizinājumu, jo ir garantija par precīzu darbu. Drošības reizinājumam liela ekonomiska nozīme. Dziļāks ieskats spēku darbībā dabā, dabas apstākļu novērošana, sīki pētījumi un precīzi aprēķini atļauj samazināt drošības reizinājumu.

Superpozīcijas princips

Ja kāds statisks lielums, par piem. moments, spēks, izliece vai kāds cits lielums atkarīgs no vairāk faktoriem (piem. atsevišķām slodzēm) un ir šo faktoru funkcija pirmā kārtā, tad var pielietot tā saucamo superpozīcijas principu (Galileo Galilei). Var analizēt katra faktora ietekmi par sevi, t.i. atsevišķi atrast no viena faktora atkarīgu gala vērtības daļu neatkarīgi no pārējiem faktoriem. Beidzot, kad atrastas gala vērtības daļas no katra atsevišķa faktora, tās saskaita (algebraiski) un koprezultātu uzskata kā atsevišķu faktoru kopīgo iedarbes rezultātu. Piem., ja kāds lieces moments ir kādu 10 slodžu kopīgas iedarbes rezultāts, tad to var atrast no katras slodzes atsevišķi. Šādi dabūtus atsevišķus rezultātus saskaita algebraiski un gūst koprezultātu. Šādi lielā mērā atvieglo darbu un padara to pārskatāmu.

Daudz piemēru superpozīcijas principa pielietošanai atrodami turpmāk.

Spēku analīze plaknē

Darinājumus būvē telpā, bet spēkus pie aprēķiniem iedomājas darbojamies plaknē. Tas tāpēc, ka ir vienkāršāks aprēķins, vienkāršāki stādīties priekšā. Tomēr, beidzamā laikā, izdevies atrast jaunus aprēķinu paņēmienus, izejot no telpā darbojošajiem spēkiem. Šinī būvmechanikas kursā apskata galvenā kārtā spēku darbību plaknē. Galvenie ir zemes pievilkšanas jeb smaguma spēki. Viņus pieņem paralelus, jo tie krustojas bezgalīgi tālā punktā - zemes lodes centrā. Darinājumos zemes pievilkšanas spēks darbojas vertikālā plaknē. Arī pretspēki (reakcijas) pa lielākai daļai darbojas vertikālā virzienā. Horizontālā plaknē darbojas vēja spiediens (jeb arī apm. zem 10° leņķa pret horizontu), lēnināšanas un paātrināšanas spēki u.c. Tā var spēkus analizēt kādā plaknē, vertikālā vai horizontālā.

Analītiskus līdzsvara nolīdzinājumus plaknē var attēlot arī grafiski. Līdzsvars starp spēkiem pastāv tad, ja spēku poligons un viņam atbilstošais virves poligons slēgti.

Ja tas nav, tad izveidojas spēku pāris un sistema griežas.

Spēks plaknē noteikts ar 3 elementiem: 1) lielumu - kilogramos vai tonnās, 2) pielikšanas punktu un 3) virzienu. Pie ārējiem spēkiem jāpieskaita arī balsta reakcijas. Vispirms nosaka visus ārējos spēkus, slodzi, smaguma spēku (pašsvaru) un reakcijas, tad pāriet uz iekšējiem spēkiem. Reakcijas ir atkarīgas no balstišanas veida, tās var atrast parasti ar statikas līdzsvara noteikumu palīdzību. Kad spēki darbojas plaknē, doti 3 līdzsvara noteikumi, ar kuriem var atrast 3 reakcijas elementus. Telpā ar 6 līdzsvara noteikumiem var atrast 6 reakcijas elementus. Ja spēki paraleli, tad spēkā tikai 2 līdzsvara noteikumi plaknē un balstu reakciju noteikšanai jāzin vēl balstu noteikumi (kā balsti veidoti). Ar konstruktīviem pagēmieniem var samazināt balstreakciju nezinamo skaitu.

Darinājumu, kura visus ārējos spēkus var aprēķināt ar līdzsvara noteikumiem (plaknē 3), sauc par **statiski noteiktu** darinājumu. Ja nezinamu vairāk par iespējamiem līdzsvara noteikumu nolīdzinājumiem, tad darinājums ir **statiski nenoteikts**. Pie šādiem darinājumiem lieko nezinamo atrašanai:

- 1) var ievērot darinājuma deformācijas vai pārvietojumus (pie virtuāla darba pagēmiena) no spēkiem un sastādīt nepieciešamu skaitu nolīdzinājumu lieko nezinamo atrašanai,
- 2) var arī izdarīt kādu konstruktīvu pārmaiņu, piemēram ievietojot sijā locīklas, izmest no kopnes kādu stieni, lai dabūtu papildu noteikumus (konstruktīvus) nezinamo atrašanai.

Ar 2) pagēmieni pārveido statiski nenoteiktu darinājumu par statiski noteiktu, ja līdzsvara noteikumi kopā ar konstruktīviem noteikumiem būs pietiekoši nezinamo ārējo spēku atrašanai. Ja darinājuma konstrukcija tāda, kas neļauj vai nav vēlams izdevīgs) izdarīt šādas konstruktīvas pārmaiņas, tad nepieciešamos nolīdzinājumus lieko nezinamo noteikšanai sastāda pēc 1) pagēmiena.

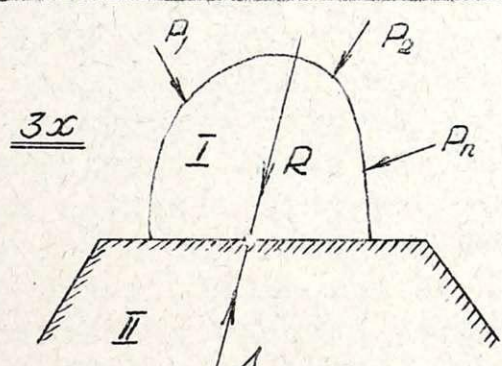
Pie saliktiem darinājumiem jāšķiro vēl jēdzieni: 1) ārēji - un 2) iekšēji statiski noteikts vai nenoteikts (skat. 2. daļā l. 3. un 37. + 40. lpp.).

- 1) Ārējā statiski noteiktība vai nenoteiktība atkarājas no balstu izveidojuma, bet
- 2) iekšējā - no mezglu izveidojuma.

Balstišanas veidi

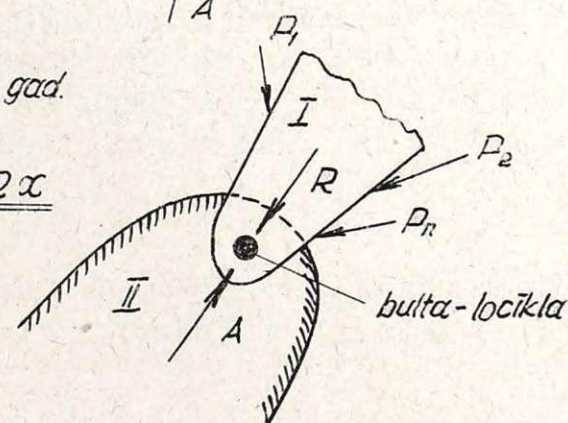
Praktiski darinājumu nevar balstīt tā, ka vēlamā vietā būtu absolūta kustības brīvība, jo balstījuma vietā arvienu darbojas vismaz berze. Praksē bieži jāatkāpjas no teoretiskām prasībām: nesošo daļu nevar atbalstīt uz vienu punktu, kā to teoretiski pieņem. Caur atkāpšanos no teoretiskiem pieņēmumiem praksē rodas papildu spriegumi, kuri var superponēties. Papildu spēkus var uz laiku ignorēt (piem. berzi balstīklas) vai izteikt ar papildu piepūli. Kopnes vai sijas neatbalsta uz balstiem tieši, bet starpā ieliek kādu starpelementu, ko sauc par **balstīklu** un kas pārnes spēkus no viena darinājuma daļas uz otru.

III šķiras balsts.



1) gad.

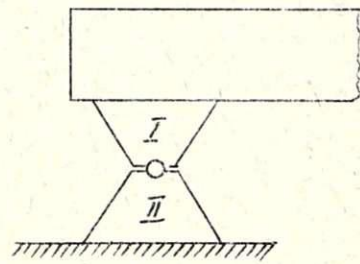
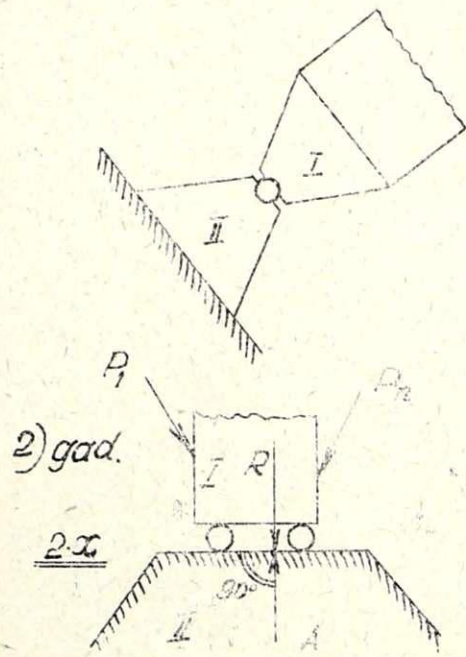
2x



Šeit nav kustības brīvības. Uz I ķermeni darbojas dažādi spēki $P_1, P_2 \dots P_n$, kuru kopspēku R var noteikt. Uzdevums ir atrast II ķermeņa reakciju A . Būs 3 nezināmi: 1) reakcijas A lielums, 2) pielikšanas punkts un 3) virziens. Bet plaknē ir doti arī 3 līdzsvara noteikumi, un ja dots tikai šāds 1 balsts, tad nezināmus var atrast. Šādu III šķiras balstu var realizēt konsolei

II šķiras balsts.

Šeit ir viena kustības brīvība: viens ķermenis var ap otru griezties. Tikai locīklā, kas izveidota no bultas, būs berze un kustības brīvība ar laiku var mazināties, jo bulta var ierūsēt un tad rodas lieli papildu spriegumi. No reakcijas A nezināmiem ir konstruktīvi fiksēts pielikšanas punkts - caur locīklu. Paliek tikai 2 nezināmi: 1) reakcijas A lielums un 2) virziens. Berzi ignorē, neievēro berzes izsauktus papildu spriegumus.



Šādi II šķiras balsti var arī būt kā loka locīklas vai nekustīgās balstīklas (ar locīklu) pie siju tiltiem. I un II ķermeņus sauc par b a l a n s i e r i e m - augšējais un apakšējais balansiers.

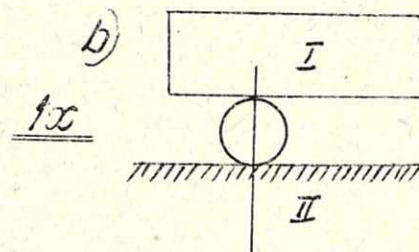
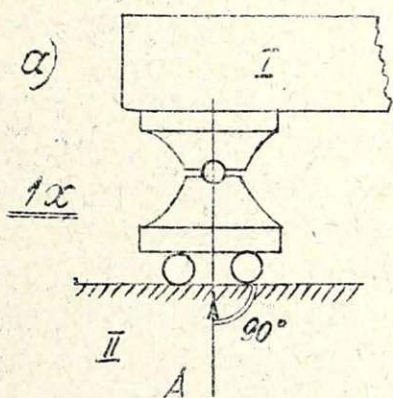
II šķiras balsta 1) gad. var schematiski parādīt:



Konstruktīvi var fiksēt reakcijas virzienu, bet vēl paliek 2 nezināmie: 1) lielums un 2) pielikšanas punkts. Arī šeit ir viena kustības brīvība: viens ķermenis var uz otra ritēt. Še būs mazāka berze kā 1) gad. Līdzsvars būs tikai tad, ja reakcijas A virziens būs \perp balsta virsējai plāknei. Ja tas nebūs, notiks horizontāli pārvietojumi.

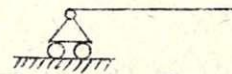
I šķiras balsts.

- Savienojot II šķiras balsta 1) un 2) gad., dabon I šķiras balstu, kur tikai viens nezināms: reakcijas lielums, jo noteikti reakcijas virziens (\perp balsta virsējai plāknei) un pielikšanas punkts (caur locīklu).
- Arī šis gadījums, ja I daļa balstas tieši uz cilindrisku velteni, dod I šķiras balstu. Abos gadījumos (a un b) ir 2 kustības brīvības. I daļa var pagriezties un bez tam pārvietoties p.p. horizontālā virzienā. Šeit reakcijas



A atrašanai var lietot vienu statisko līdzsvara noteikumu. Pārējos noteikumus pielieto citu reakciju atrašanai.

I šķiras balstu var šematiski parādīt:



Bez apskatītiem var būt vēl dažādi citi konstruktīvi balstīklu veidi, bet tos apskata sīkākī tiltuursos. Balstīklas nevar veidot ideālas, t.i. tādas, kur nav berzes. Berze izsauc papildu spriegumus.

Dažādu konstrukciju raksturojums

Pēc izveidošanas var konstrukcijas šķirot: 1) pilnsieniņu un 2) režgotas konstrukcijas. Sijas, loki, rāmji - pilnsieniņu vai režgotas (kopnes) būs galvenās konstrukcijas, ar kurām jānodarbojas inženierim, tāpēc šinī būvmechanikas kursā galvenā kārtā apskatītas šādas konstrukcijas. Spriegumus kādā šķēlienā var aprēķināt, ja zināmi iekšējo spēku M , Q un N lielumi, kas darbojas apskatāmā šķēlienā. M - lieces moments; Q - cirpes spēks, šķērspēks; N - normalspēks, ass spēks. Šos iekšējos spēkus izsauc ārējie spēki. Būvmechanikas uzdevums ir atrast ārējos spēkus un pēc tam iekšējos spēkus. Kādā darinājuma elementā var darboties visi šie 3 lielumi, vai arī tikai daži no tiem. Atsevišķos gadījumos viens no šiem lielumiem var būt noteicošais, bet pārējo iespaids tuvojās nullei, tā ka tos var ignorēt, nosvītrot. Atkarībā no tā, kādi iekšējie spēki darbojas, var šķirot darinājumus. Piem., ja darinājuma elementos darbojas tikai ass spēki, tad šāds darinājums var būt kopne vai arī kāds stabs, kolonna. Bet arī kopnes stieņos praktiski nedarbojas tikai ass spēki. Stieņu savstarpējai pagriešanai var būt šķēršļi locīklās, piem. berze. Tas dod papildu iekšējos spēkus: M un Q . Tāpat pie kopnēm ar sakniedētiem mezgliem rodas lieces momenti (M) un līdz ar to arī cirpes spēki (Q). Bet viņu nozīmes, salīdzinot ar ass spēkiem, ir mazas un, lai nesarežģītu aprēķinus, tos atmet. Tomēr to ietekme jāietver drošības reizulī.

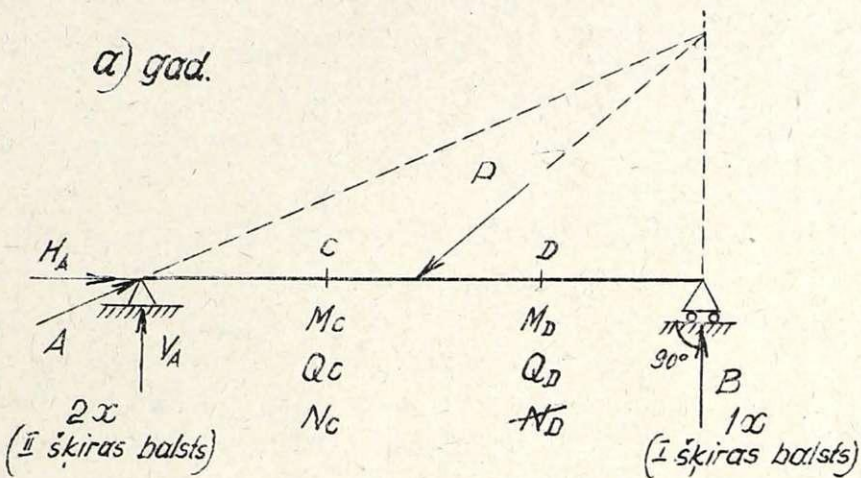
1. SIJAS

Konstrukcijas schematiski apzīmētas ar to smaguma asi. No vertikāliem spēkiem horizontālā sijā darbojas tikai M un Q , $N = 0$. Tas raksturo siju. Ja darbojas slīpie spēki, tad visā

sijā vai kādā vienas daļā būs arī ass spēki.

Sijas var būt statiski noteiktas vai nenoteiktas, atkarīgi no balstišanas veida.

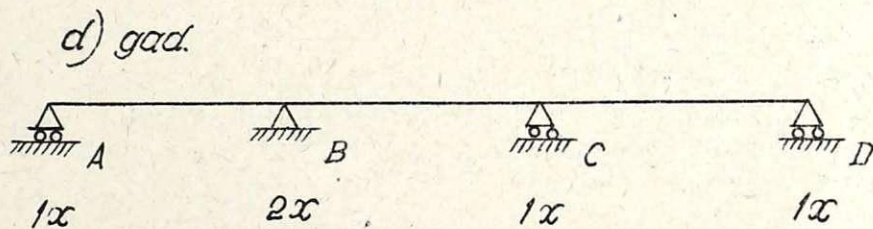
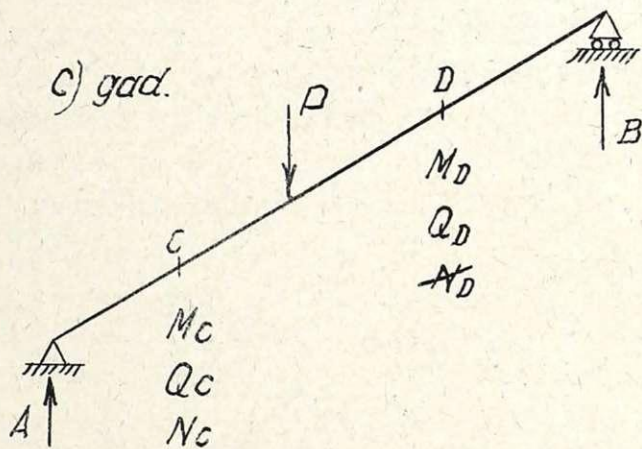
- a) Sija uz 2 balstiem ir tad statiski noteikta, ja atbalstīta tā, lai balstreakciju nezinamo skaits nebūtu lielāks par 3. A balstīkla veidota kā II šķiras balsts ar 2 nezinamiem: 1) reakcijas lielumu un 2) virzienu. B balstīkla veidota kā I šķiras balsts ar nezinamu reakcijas lielumu. Šī ir vienkāršā sija. Līdzsvara gadījumā spēkiem A, P un B jākrustojas vienā punktā. Šis ir vispārējs gadījums. Šķēlienā D darbojas tikai M_D un Q_D , N_D -izsvīrojams (Faktiski berzes spēks B balstīklā izsauc arī šķēlienā D ass spēku, bet to parasti ignorē, resp. ievēro drošības rezuli). Šķēlienā C darbojas M_C , Q_C un arī ass spēks $N_C = H_A$. H_A ir reakcijas A horizontālā komponente.



- b) Parasti tomēr galvenie spēki darbojas vertikāli un tāpēc noteicošais pie sijām ir lieces moments M. Atkarībā no sijas konstruktīvām īpatnībām arī iekšējais spēks Q (cirpes spēks) var ievērojami ietekmēt dimenzionēšanu. Uz cirpes spēka Q pamata nenoāka galvenās dimenzijas, bet nosaka otrās šķiras iekšējās dimenzijas (piem. pie dzelzbetona sijām cirpes stiegrojumu, pie kniedētām dzelzs sijām - vert. lapas dimenzijas, pie saliktām koka sijām - pretbidņus u.t.t.). Galvenās dimenzijas noteic tikai pēc lieces momenta. N parasti neeksistē. Vertikālo ārējo spēku ga-

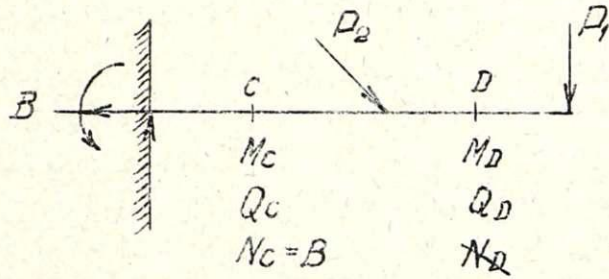
dījumā vienkāršai sijai paliek tikai divi nezinami, bet arī 2 līdzsvara noteikumi. Ja ignorē berzi, t.i. uzskatot, ka B balstīkla var pārvietoties bez berzes, tad šķēlienos C un D būs lieces momenti M_C , M_D , līdz ar to arī cirpes spēki Q_C un Q_D , bet nebūs centrālo ass spēku N_C un N_D .

- c) gad. (Trepju sija). Šeit ārējie spēki ir vertikāli, bet griezumā c darbojas arī ass spēks N_C . Tomēr arī šo konstrukciju sauc par siju, jo pamatā ir a) gad.



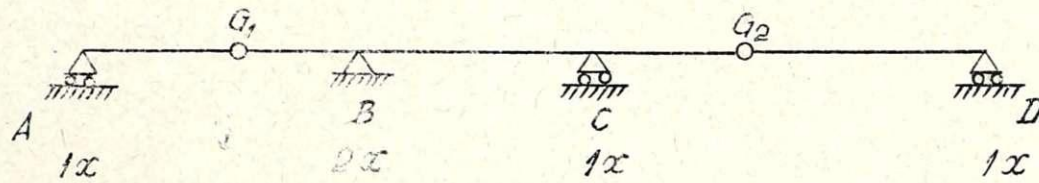
- d) Balstot siju vairākos punktos, dabon nepārtrauktu siju uz vairākiem balstiem: blakus zīmējumā uz 4 balstiem. Izveidojot balstīklas kā rādīts, būs 5 nezinami lielumi, kuriem var pretīm stādīt 3 līdzsvara noteikumus. Paliek 2 nezinami - darinājums ir divreiz statiski nenoteikts. Nezināmo noteikšanai jāuzstāda palīgnolīdzinājumi. Tos sastāda, izejot no deformacijām vai virtuēla darba principa. Tad, sumējot visus papildu noteikumus ar balstu noteikumiem, var atrast nezināmos spēkus.

e) gad.



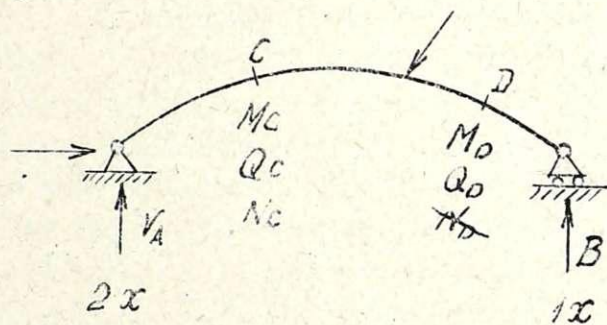
e) Atsevišķu sijas gadījumu, kur sija ir iestiprināta ar vienu galu kādā citā daļā, bet otrs gals paliek brīvs, sauc par k o n s o l i . Šeit ir trīs nezināmi: reakcijas A un B un reaktīvais moments M. Šķēlienā D nebūs ass spēku vai būs tik mazs, ka svītrojams. Šķēlienā C būs ass spēks no slīpa P_2 spēka.

f) gad.



f) Sakombinējot vienkāršo siju ar konsolēm, dabon konsolsiju jeb Gerbera siju. Šeit ir 5 nezināmi balstu reakciju lielumi, kam var stādīt pretīm 3 līdzsvara noteikumus un vēl 2 papildu noteikumus, ka momenti G_1 un G_2 locīklas līdzinas nullei.

g) gad.

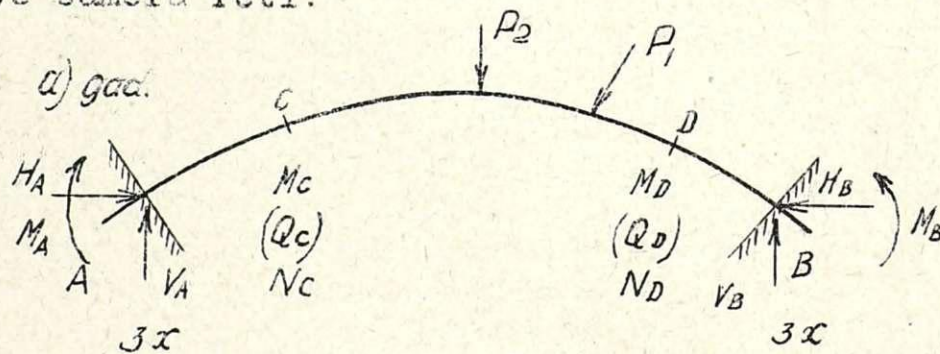


g) Šis gadījums ir identisks ar a) gadījumu, tikai ass nav taisna, bet līka. Tāpēc šo sauc par s i j u a r l i k o a s i . Šeit pie vertikāliem aktīviem spēkiem arī balsta reakcijas ir vertikālas, pie tam balsta reakcija B ir vienmēr vertikāla. Šī ir statiski noteikts darinājums, jo ir tikai 3 nezināmi. Ja B balstīklai nebūtu hōricontālas kustības brīvības, tad šis būtu loks. Tāpēc pēc ārējā izskata vien nevar spriest, vai ir loks vai sija. No slīpiem spēkiem griezumā C būs arī ass spēki. No vertikāliem spēkiem abos griezumos (C un D) būs niecīgi ass spēki, tos neievēro.

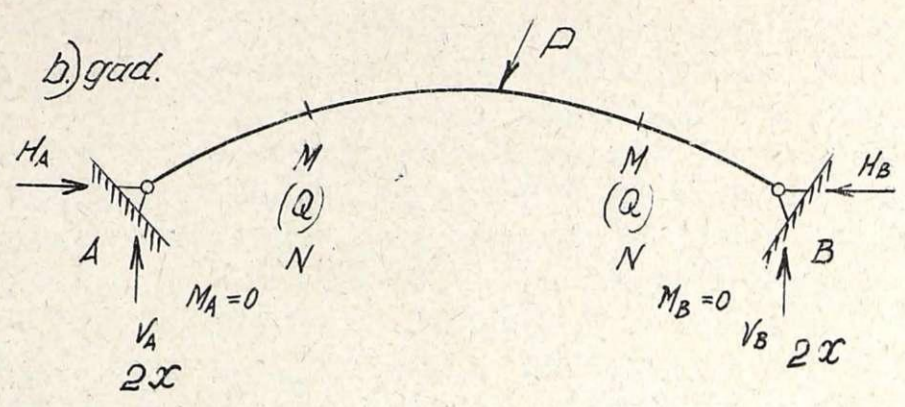
2 LOKI

Lokam ir šādas pazīmes: vienalga, kādi spēki nedarbotos, katrā šķēlienā parādīsies M, Q un N. Pie tam ass spēka N nozīme ir tik liela, ka tas jāievēro pie loka dimenzionēšanas kopā ar lieces momentu M. Cirpes spēks Q ir mazs un to var pie loka atstest. Ja uz loku darbojas tikai pastāvīgas slodzes vai arī ja ir darišana ar lielu loku, kur pašsvārs ļoti liels, bet kustīgā slodze relatīvi maza, tad var atrast loka formu, pie kuras galvenais būs ass spēks un lieces momenta ietekme pie dimenzionēšanas būs maza, to var pat ignorēt. Visādā ziņā lokus konstruē tā, lai lieces moments būtu katrā šķēlienā pēc iespējas mazs (blakus faktors) un l o k a d i m e n z i j a s n o t e i c p ē c a s s s p ē k a . Tāda loka forma būs visizdevīgākā. Pie loka pat vertikālie spēki izsauc balsta reakcijas h o r i c o n t ā l u k o m p o n e n t i , t.s. b a l s t b i d i . Arī šī pazīme parāda loka un sijas atšķirību. Sija ar līko asi atšķiras no loka ar to, ka pie tā vertikāles slodzes neizsauc reakcijas hōricontālas komponentes. Sijas ar līko asi būvē samērā reti.

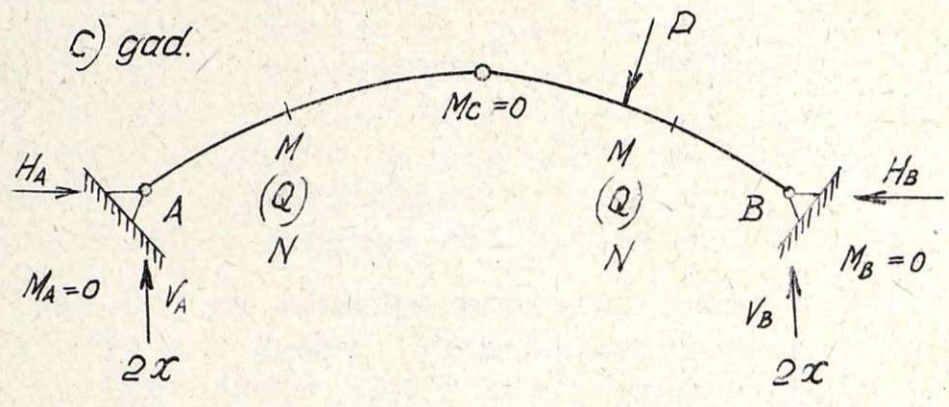
a) gad.



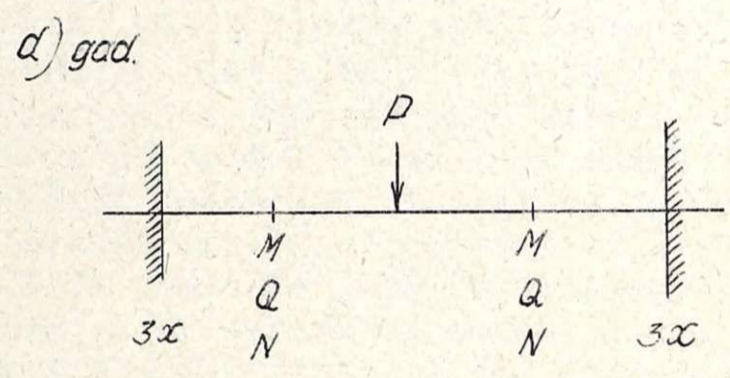
a) Šis ir iespīlēts loks - gali iespīlēti. Šeit 6 nezināmi: 3 var atrast ar 3 līdzsvara noteikumiem, bet pārējo 3 nezīnāmo atrašanai jāņem palīgā deformācijas noteikumi. Šī ir 3 reiz statiski nenoteikta konstrukcija.



b) Šis ir divlocīklu loks. Šeit 4 nezināmi, resp. 1 reiz statistiski nenoteikta konstrukcija. Salīdzinot ar a) gad., šeit $M_A = 0$ un $M_B = 0$, jo ir locīklas. Katra locīkla samazina statistisko nenoteiktību par vienu lielumu.



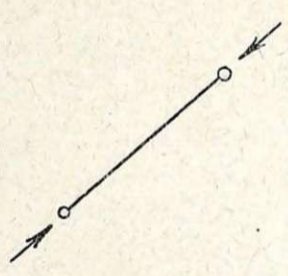
c) Šis ir trīslocīklu loks. Konstrukcija ir statistiski noteikta. 4 nezināmiem var pretīstādīt 3 līdzsvara noteikumus un 1 konstruktīvu noteikumu, ka 4) $M_C = 0$, t.i. punktā c ir locīkla, kas izslēdz momentu pārnesšanu no kreisās daļas uz labo.



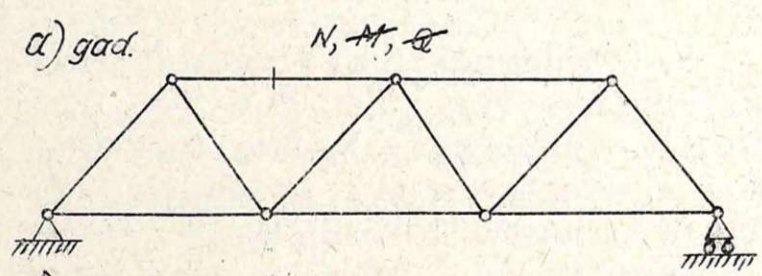
d) Šo darinājumu var uzskatīt par sijasveidīgu loku, jo šeit vertikālie spēki izsauc arī ass spēkus. Bieži to sauc arī par abos galos iespīlētu siju. Šī ir 3 reiz statistiski nenoteikta konstrukcija. Jāizšķir arī, vai ir pilnīgs iespīlējums vai nē. Ja pilnīgs iespīlējums, tad dimenzionēšanai par pamatu ņem ass spēku N, otrā gadījumā lieces momentu M. Tāpat jā-rēķina pēc M, ja deformācijas lielas. Ja sija var uzņemt tikai ass spēku, jā-rēķina pēc N.

3. KOPNES

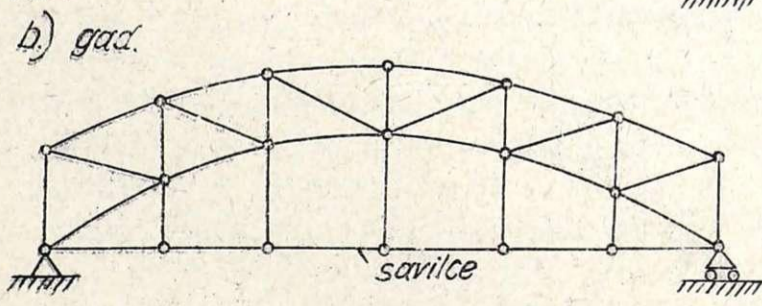
Siju, koku, rāmju u.c. konstrukcijas var veidot pilnsieniņu vai no atsevišķiem stieņiem. Konstrukciju, saliktu no atsevišķiem taisniem stieņiem (stabiņiem), sauc par kopni.



Kopnes mezgli fiksē spēku pielikšanas punktus. Spēkiem jādarbojas stieņu ass virzienā. Mezglos, kur sanāk kopā stieņi, tos var savienot ar bultu, lai stieņi varētu griezties brīvi, kā ap locīklu, un nepārnestu lieces momentu no viena stieņa uz otru. Tomēr ar laiku šādas locīklas sarūsē, berze top liela un šāds mezglu veidojums nav labāks par mezglu sakniedējumu. Kopnes stieņos tāpēc bez ass spēkiem darbojas vēl mazākā mērā lieces momenti un līdz ar to arī cirpes spēki. Tomēr galvenie ir ass spēki, pēc kuriem veic dimenzionēšanu. Momenta un cirpes spēka ietekmi ievēro drošības reizulī. Kopnes balstīšanas noteikumi ir tādi pat kā pie pārējām konstrukcijām.

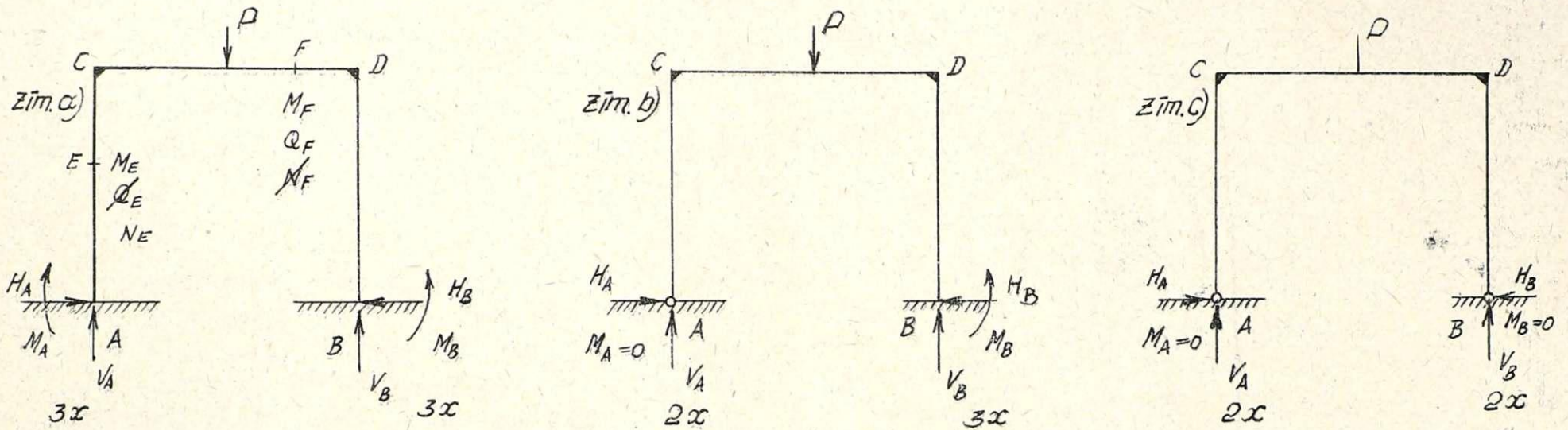


a) gadījumā kopne ir balstīta kā vienkāršā sija, t.i. ārēji statistiski noteikta. Tāpat ir balstīta arī b) gad. kopne, bet šī kopne no otras puses veidota kā loks.



Tikai šeit horicontālo komponenti jeb t.s. balstbīdi uzņem savilce. Tāpēc šī kopne ir ārēji statistiski noteikta, bet iekšēji - statistiski nenoteikta.

4. RĀMJU KONSTRUKCIJAS.



Rāmju stūri izveidoti stingri (nemainīgi) ar lielu kūtrības momentu un tie var pretoties lieces momentam, resp. pārnest tos no vienas daļas uz otru; leņķi pie stūriem C un D nemainās. Ja rāmi slodzē tikai ar vertikāliem spēkiem, tad tomēr rodas vertikālas un horizontālas balstu reakcijas (balstbīde). Stabos (AC un BD) rodas lieces moments M un ass spēks N , cirpes spēks Q ir mazs un to var ignorēt. Svarīgākais ir N_E , mazāk svarīgs M_E . Šeit ir līdzība ar loku. Turpretim horizontālā daļa (CD) darbojas kā sijaspraislis. Šeit noteicošais ir lieces moments (M_F) un mazāk svarīgs cirpes spēks (Q_F). Ass spēku (N_F) var ignorēt. Rāmis ir itkā loka un sijas kombinējums. Rāmju atsevišķi stieņi ir taisni, bet dažas daļas var būt arī līkas: piem. daļa CD. Zīm. a) parādītais rāmis ir 3 reizes statiski nenoteikts, jo 6 nezināmiem var stādīt pretim tikai 3 līdzsvara noteikumus. Zīm. b) rāmis ir 2 reizes statiski nenoteikts, jo šeit ierīkojot locīklu pie A, dabon konstruktīvu noteikumu $M_A = 0$. Zīm. c) rāmis ir tikai 1 reiz statiski nenoteikts, jo ir divi konstruktīvi noteikumi: $M_A = 0$ un $M_B = 0$. Pie rāmjiem, tāpat kā pie lokiem, katra locīkla samazina statisko nenoteiktību par vienu lielumu. Ir ļoti daudz dažādu rāmja konstrukcijas veidu.

Bez jau apskatītām sijas, loka, kopnes un rāmja konstrukcijām ir vēl plāksnes telpā, kupoli un tvertnes, čaulas - plānas tvertnes (plānas sienas, kur darbojas tikai ass spēki), vertikālās plātnes - sienas u. c.

MĀCĪBA PAR ZEMES SPIEDIENU

Literatūra: Müller-Breslau, Erddruck auf Stützmauern, 1906. Müller, Erddrucktabellen. Terzaghi, Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage, 1925. Krey-Ehrenberg, Erddruck, Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes, 1932. - Petersen, Erddruck auf Stützmauern, 1924.

Zemes spiediena, resp. birstošo vielu teorijas uzdevums ir noskaidrot kā zeme vai citas birstošas vielas iedarbojas uz darinājumu. Kādu spiedienu rada zeme uz darinājuma daļām? Kāds rodas spiediens uz silosu un tvertņu sienām no iebērtiem graudiem, miltiem, grants u. c.? Šis beramo vielu spiediens atkarīgs no darinājuma dimenzijām: ja dziļums mazs, tad spiedienu uz silosa vai tvertnes sienām var aprēķināt pēc zemes spiediena teorijas; ja dziļums liels - tad vairs nevar pielietot zemes spiediena teoriju.

Zemes spiediena lieluma un rakstura noteikšana saistīta ar lielām teoretiskām

grūtībām. Pastāv vairākas zemes spiediena teorijas, bet neviena no tām nesaskan ar Istenību, jo pieņēmumi, kas tajās pielietoti, praktiski neattaisnojas. Zemes fizikālās īpašības nav vienādas, tās atkarīgas ne tikai no zemes atrašanās vietas, bet arī no gada laika. Vienkāršākā un visvecākā ir franču kara inženiera Ch. A. de C o u l o m b ' a (Kulona) (1736.-1806.) 1773.g. dibinātā teorija. Pirms Coulomb'a ar zemes spiedienu pētīšanu nodarbojušies slavenais franču maršals V a u b a n (Voban) (1633.-1707.) un C o u p l e t (Kuplē), kas mēģināja zemes spiedienu zinātniski pamatot. Coulomb'a teoriju papildinājuši: 1840.g. P o n c e l e t (Ponselē), 1858.g. R a n k i n e , 1866.g. C u l m a n n (Kulman), 1871.g. R e b h a n n . Visi strādāja pie Coulomb'a teorijas izveidošanas, lai gan tā visumā jāuzskata kā aptuvens aprēķina paņēmieni. Coulomb'a teorija jau novecojusies, bet to vēl tagad plaši pielieto, jo līdzšinējie pētījumi pierāda, ka praktiskiem nolūkiem parastos apstākļos šī teorija visvairāk atbilst Istenībai. Citu zinātnieku pilnīgākas un pareizāk pamatotas teorijas praksē nav izrādījušās par labākām. Tagad zinātnieki strādā pie labāku zemes spiediena aprēķināšanas paņēmieni meklēšanas. Lielākās universitātēs ir lielas pētīšanas aparaturas (Berlīnē, Istambulā u.c.), bet ir grūtības Isto dabas spēku novērošanā un noteikšanā.

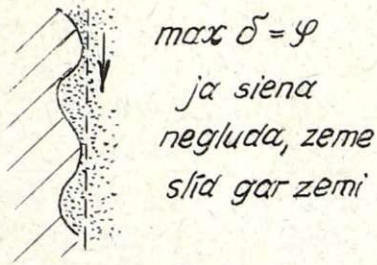
Raksturīgie lielumi pie zemes spiediena aprēķina

Zemes spiediena aprēķināšanai vajaga vispirms noteikt šādus lielumus.

1. T i l p u m a s v a r s γ_e t/m³ (tas nav specifiskais svars, bet svars kopā ar visiem tukšumiem). Parastām zemēm $\gamma_e = 1,6 \div 1,8$ t/m³. Lai noteiktu šo γ_e , zemē izrok regulāru bedri, kurai nosaka kubaturu. Izrakto zemi nosver un no attiecībām dabon tilpuma svaru (pašsvaru). Var arī ņemt zināmas kubaturas kasti, to piepilda ar zemi, kuru noblietē un tad nosver. Šis paņēmieni nav precīzs, jo, izrokot zemi, to uzirdina par apm. 5 - 10% - 20%; uzirdināto zemi noblietējot, nav iespējams līdz šim rast metodi, kas noteiktu, kā panāktā tā blīvuma pakāpe, kāda bijusi zemei pirms izrakšanas dabīgā stāvoklī.
2. D a b ī g ā s n o g ā z e s l e ņ ķ i s φ (Šo leņķi literatūrā apzīmē arī ar ψ), t.i. leņķis, kuru veido zeme ar horizontu dabīgos apstākļos. Berot vienu un to pašu smilti vairākas reizes, vienmēr veidojas zemes kons ar vienu un to pašu leņķi starp kona veidotāju un horizontu, kas tad arī ir dabīgās nogāzes leņķis φ . Ber no neliela augstuma, lai zemes daļām nebūtu liels ātrums (dzīvais spēks), resp. būtu dabīgi apstākļi. Tā var $\neq \varphi$ atrast eksperimentālā ceļā katrai zemes šķīrāi. Parasti $\neq \varphi = 30^\circ \div 35^\circ$ (arī $20^\circ \div 40^\circ$). φ - konstants leņķis zemei ar konstantām fizikālām īpašībām. Ja graudu lielumi vienādi, tad iekšējā berze maza, resp. arī $\neq \varphi$ mazs. Ja graudu lielumi dažādi, tad mazi graudi aizpilda tukšumus, iekšējā berze lielāka, resp. arī $\neq \varphi$ lielāks. Tāpat smilts graudu asums palielina iekšējo berzi, resp. $\neq \varphi$. Dabīgās nogāzes leņķis φ ir atkarīgs arī no mitruma pakāpes. Samērā neliels mitruma daudzums izsauc koheziju - starp graudiņiem notiek salipšana, tādēļ arī dabīgās nogāzes leņķis φ pie mitras zemes būs lielāks, nogāze būs stāvāka. Bet pēc zināmas mitruma pakāpes sasniegšanas, φ sāk mazināties (piem. rodas plūstošā smiltis). $\neq \varphi$ var nokrist uz 20° , pat uz $5^\circ \div 2^\circ$. Pie vienkāršā aprēķina tomēr neievēro šo koheziju. Sausā, asā smiltī gandrīz nemaz nav kohezijas; arī mitrā smiltī vai grantī tā ir samērā maza. Tikai plastiskās zemes šķīrās, kā mālā, glūdā resp. ļoti mālainās zemēs kohezija var būt ievērojami liela. Bet praktiski līdz 3 ÷ 4 m dziļumam arī pie tādām zemēm var neievērot koheziju. Kad māls sauss un sadrupināts, tad φ mazs, slapjam mālām φ ir liels, plūstošam - atkal φ var būt ļoti mazs. Vispārīgi, aprēķinot zemes spiedienu lielākiem darinājumiem (ar vairāk kā 10 m augstumu), vajaga izvest sīkākus pētījumus, noteicot un ievērojot arī koheziju. Arī augu vai koku saknes var atstāt ietekmi uz dabīgās nogāzes leņķa lielumu. Pie aprēķiniem nav iespējams radīt precīzu metodi. Pieņem kādu vidējo φ lielumu, ievēdot zināmu drošību. No $\neq \varphi$ lieluma atkarājas zemes spiediena lielums un virziens. Jo mazāks $\neq \varphi$, jo lielāks spiediens uz atbalstsieniņu.
3. I e k š ē j ā s b e r z e s l e ņ ķ i s. Tas ir berzes leņķis starp zemi un zemi, piem. kad nobrukušā zeme slīd gar mierā paliekošo zemi. Šo leņķi grūti noteikt. Var atrast laboratorijā. Zemes spiediena teorijā pieņem, ka šis leņķis ir vienāds ar $\neq \varphi$, lai gan faktiski tas ir drusku lielāks (apm. $2^\circ \div 3^\circ$ - nevar precīzi noteikt). Pie dabīgās nogāzes leņķa beramās vielas daļiņas, veļoties pa nogāzi zemē, iegūst zināmu iner-

ciju un tā veidojas lēzenāka nogāze.

4. Berzes leņķis starp atbalsta sienu un zemi - δ . Šis leņķis atkarīgs no atbalsta sienas gluduma, zemes mitruma, blīvuma, satricinājumiem u.t.t. Ja atbalsta siena ļoti nelīdzena, tad zeme slīdēs ne vairs gar pašu sienu, bet gar zemi, kas sakrājusies sienas nelīdzenumos (zīm. blakus). Šinī gadījumā δ vērtība sasniedz savu maksimālo vērtību: $\max \delta = \varphi$. Ja siena ļoti gluda (piem. no betona, pārklāta ar gudronu), un gar to slīd mitra zeme, tad berze ir niecīga un praksē par zemāko δ nozīmi var pieņemt: $\min \delta = 0$.



δ ir atkarīgs no dabīgiem apstākļiem: jo sausāka beramā viela un negludāka siena, jo lielāks būs δ un otrādi. Šis δ mainās arī atkarībā no triecieniem: jo stiprāks trieciens, jo mazāks δ . (Bīstami ir triecieni no augšas, jo tie paceļ zemes spiediena E pielikšanas punktu. Triecinājumu viļņi kādreiz dod tik lielu amplitūdi, ka saplaisā atbalsta sienu u.t.t.).

Arī zemes mākslīgā sablīvēšana ietekmē δ lielumu: pie vairāk sablīvētās zemes ir lielāks iekšējais spraugums, lielāks φ un līdz ar to arī lielāks δ . Ar laiku šis spraugums izzūd un δ samazinājas. Vispārīgi δ vērtība var mainīties robežās $0 \leq \delta \leq \varphi$. Leņķim

δ ir liela ietekme uz zemes spiediena lielumu un virzienu. Virziens ir bieži vien svarīgāks par pašu zemes spiediena lielumu, piem. pie augstām būvēm. No tā atkarājas drošība. Jo mazāks δ , jo nelabvēlīgāks E virziens. Pie zemes spiediena aprēķina δ pieņem nevis pēc dabīgiem apstākļiem (tie var būt mainīgi), bet pēc tā, kādu drošību prasa darinājums. Lielāka drošība jāpiešķir būvēm, kas ir svarīgas un padotas mitrumam un triecieniem. Tur pieņem $\delta = 0$, piem. pie krastmalām, kur ūdens sūcas no apakšas, tāpat arī tiltu krastu balstiem, kur ir lieli grūdieni un triecieni. (Grūdieni un triecieni ietekmē galvenā kārtā augšējo sienas daļu, tāpēc Krey'a grāmatā pieņemts dažos gadījumos līdz $\frac{1}{2}$ augstumam $\delta = 0$, tālāk apakšējai daļai pieņem parasto δ). Pie dzelzceļu tiltiem parasti pieņem $\delta = 0$. Kur nevajaga tādu paaugstinātu drošību, pieņem $\delta = \frac{1}{3} \varphi + \frac{2}{3} \varphi$, at-

karīgi no apstākļiem. Pāri par $\frac{2}{3} \varphi$ nekad praktiski neiet. δ lielumu var arī ietekmēt vēlāmā virzienā mākslīgi, piem. ierīkojot aiz atbalsta sienas drenāžu, dabon sausāku zemi, resp. lielāku δ .

5. Atbalsta sienas izveidojums. Lai aprēķinātu zemes spiedienu, jāzin arī sienas un zemes virsmas izveidojums (dziļums, leņķis pret vertikāli, resp. horizontāli). Liektas sienas vai zemes virsmas parasti reducē pie kādas vidējas plaknes. Šāds vienkāršojums praktiski daudz neietekmē jau tā visumā aptuveno zemes spiediena aprēķinu.

Coulomb'a zemes spiediena teorija

Coulomb's (Kulons) ar savu teoriju nāca klajā Francijā pie apcietinājumu būvēm (1773.g.). Par pamatu šai teorijai likti daži pieņēmumi, kas vairāk vai mazāk nesaskan ar īstenību. Ja aiz atbalsta sienas aizbērtā zeme, tad tā spiež uz sienu un līdzsvarojas ar sienas pretspiedienu (reakciju). Cik liels ir šis statiskais zemes spiediens E, grūti noteikt, jo tas atkarīgs no augstāk iztirzātiem lielumiem δ_e , φ , δ , kas savā skaitliskā vērtībā mainīgi un atkarīgi no dažādiem ārējiem apstākļiem, kas bieži nepado konstruktora ietekmei un regulēšanas iespējai. Tāpēc parasti gan nejautā, kāds ir faktiskais zemes spiediens (neviens teorija to nevar atrast), bet gan jautā, kāds varētu būt maksimāli iespējamais zemes spiediens pie dotiem apstākļiem: δ_e , φ , δ , sienas izveidojuma un zemes virsmas. E = zemes spiediens. Interesē, kāds būs max E? Vai tas neapgāzīs sienu vai neizsauks pamatnē pārāk lielus spriegumus? Ja siena spēs pretoties max E, tad tā pretosies arī patiesam spiedienam, kurš mazāks par šo max E (te liela drošība, sienas būs diezgan masīvas). Tas ir Coulomb'a princips. Pēc Coulomb'a maksimālo zemes spiedienu aprēķina tai brīdī, kad siena sāk zaudēt līdzsvaru, sāk kustēties, kas patiesībā nedrīkst nekad notikt. Šis Coulomb'a pieņēmums daudz atvieglo turpmāko aprēķinu, jo ar to problema kļūst statiski noteikta. (Citi zinātnieki iziet no nekustīgās sienas).

Parasti zemes spiedienu aprēķina sienai ne visā sienas platumā, bet 1 m platai joslai, iedomājoties šādu strēmeli izgrieztu no visas sistēmas. Pie tam neievēro berzi no sāniem, kas ieslēdz šo fiktīvo strēmeli. Šaurām sienām, piem. tikai 1 m platai, arī sānu berzi nevarētu ignorēt, jo tā spiedienu uz sienīņu pamazinās. Var būt divējāda veida spiediņi:

1. siena kustas uz priekšu un aiz tās nobrūk zeme. Zemes ķīlis seko sienai (aktīvais zemes spiediens);
2. siena iespiežas zemē, zemes ķīlis iet pa priekšu, ceļas uz augšu (pasīvais zemes spiediens resp. zemes reakcija).

1. Sienu attālinot no zemes ← virzienā, tai seko kāda zemes prizma ar pamata trijstūri ABC (augstums = fikt. strēmeles platums = 1 m). To sauc par nobrukuma prizmu. Plākni AC sauc par nobrukuma virsmu. AC pieņem par plakānu, lai gan tā faktiski ir līka - cilindriskā virsma (Müller-Breslau), bet šis pieņēmums maz iespaido jau visumā aptuveno aprēķinu. Praktiski šādas nobrukuma prizmas, resp. zemes ķīļa izveidošanu var novērot, bīdot sienu uz priekšu un fotografējot zemi: var redzēt isto robežu starp atdalījušos zemes ķīli (nobrukuma prizmu) un pārejo zemi. Šeit jāpiezīmē, ka nekustēsies vis visa zemes prizma līdz dabīgai nogāzei AD, bet tikai zinama daļa - līdz AC. Sienai kustoties uz

priekšu, zemes nobrukuma prizma ABC kustas uz leju. Šis ir svarīgs moments: relatīvā kustībā starp sienu un zemi - zeme kustas uz leju (raustītā bultiņa), bet siena itkā uz augšu (pilnā bultiņa). Šis mirklis nosaka zemes spiediena E virzienu, jo tam jādarbojas zem berzes leņķa δ . Ar to kļūst saprotams, kāpēc Coulomb's pamatojis savu teoriju uz mirkli, kad siena sāk kustēties: no šī pieņēmuma dabū E virzienu

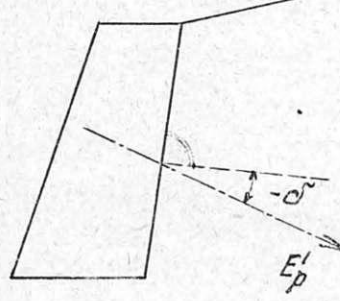
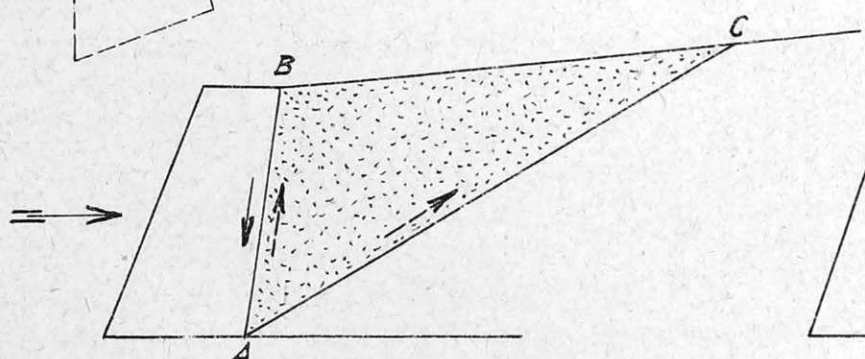
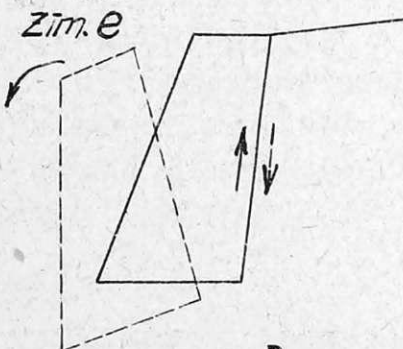
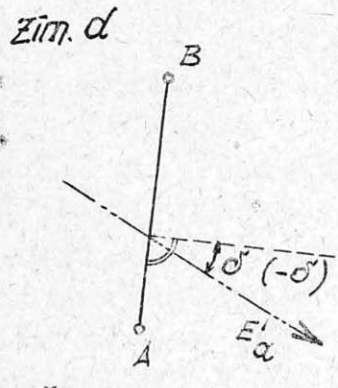
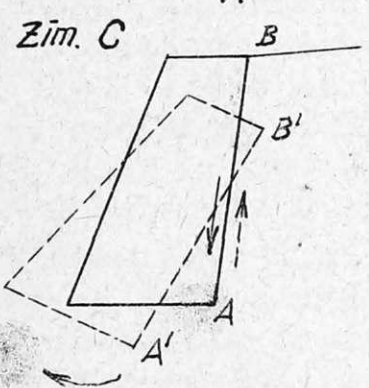
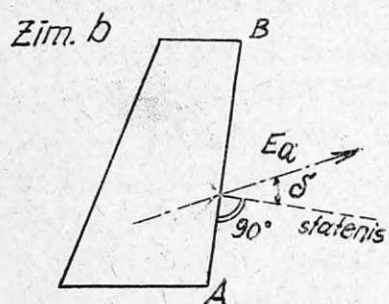
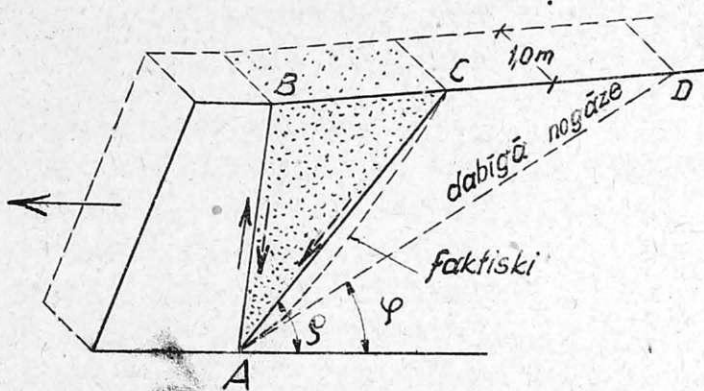
(arī R virzienu - skat. tālāk). Šis gadījums attēlo aktīvo zemes spiedienu - E_a (zeme spiež uz sienu, cenšoties to pārbīdīt vai apgāzt). Zīm. b parādītais E_a ir īstenībā sienas pretspiediens, reakcija aktīvam zemes spiedienam. Leņķis δ šeit jāliek uz augšu (zeme slid uz leju).

Var būt vēl otrs aktīvā zemes spiediena gadījums: sienas apakšējā daļa slid uz leju un uz priekšu (zīm. c). Tad relatīvā kustībā starp sienu un zemi - siena kustas uz leju (pilnā bultiņa), bet zeme itkā uz augšu (raustītā bultiņa).

Arī šeit zemes spiediena virziens novirzas par $\neq \delta$ no sienas normas virziena, bet tikai uz otru pusi, jo pie zemes prizmas pārvietošanās itkā uz augšu, berze ir virzīta pretējā pusē, dabū " $-\delta$ " (zīm. d).

Šāds gadījums var rasties mitrā māla slānī (gadas reti). Ja siena gāžas kā rādīts zīm. e, tad relatīvā kustībā zeme slid uz leju un siena itkā uz augšu. Šis ir līdzīgs gadījums zīm. a un zīm. b parādītam, tāpēc zemes spiediena, resp. sienas pretspiediena virziens novirzas par $\neq \delta$ uz augšu no sienas normas virziena.

2. Ja sienu bīda pret zemi, tad virzas uz augšu zemes ķīlis, kas ir daudz lielāks par šādu ķīli pie aktīvā zemes spiediena. Šeit relatīvā kustībā zemes ķīlis kustas uz augšu un siena itkā uz leju. Līdz ar to zemes spiediena virziens novirzas par $\neq \delta$ no sienas normas virziena uz leju, dabū " $-\delta$ ". Šis ir pasīvais



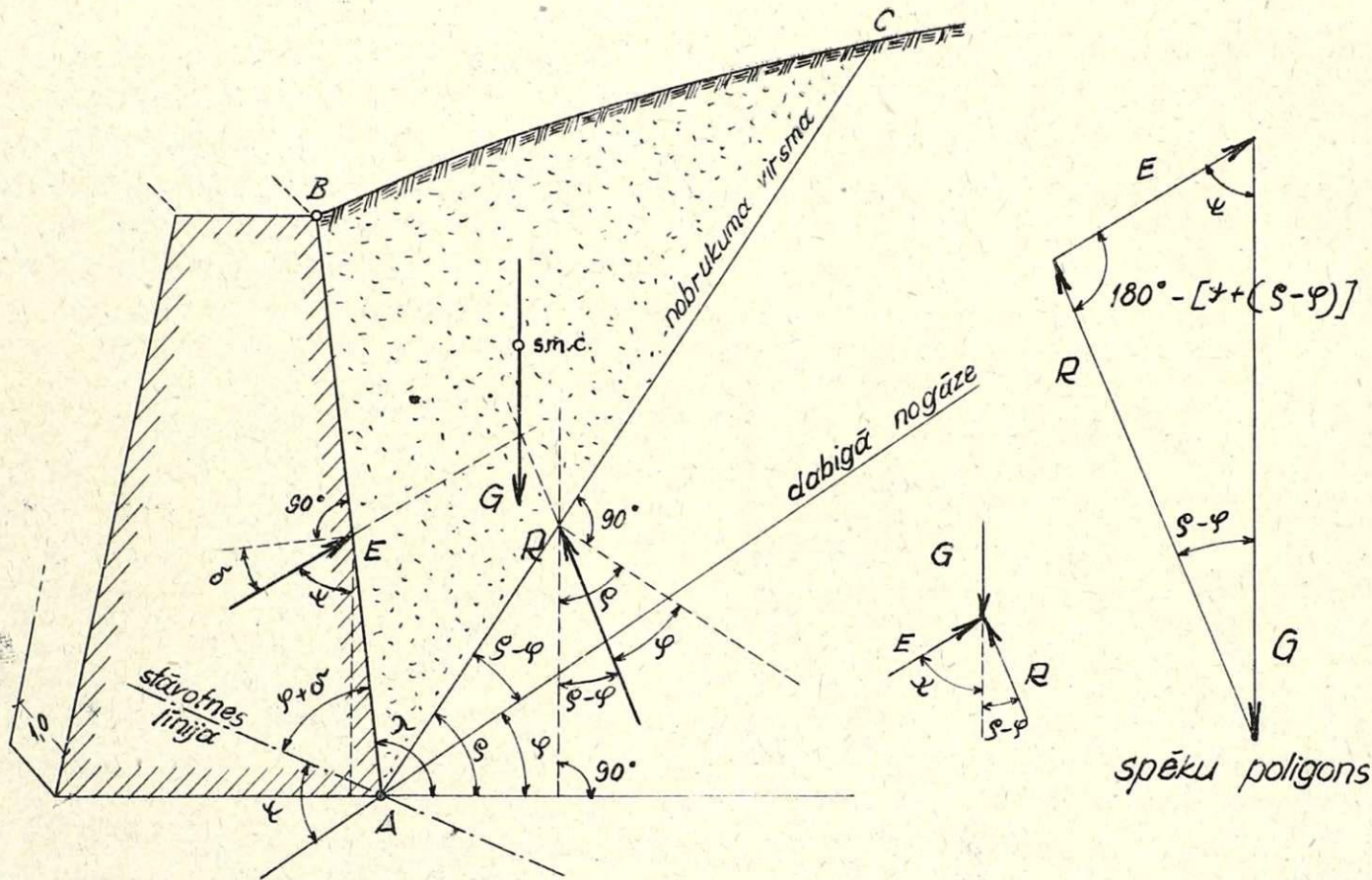
v a i s z e m e s s p i e d i e n s E_p vai zemes reakcija (zeme pretojas sienas iespiešanai zemē). Pasīvais zemes spiediens daudz lielāks par aktīvo.

AKTĪVĀ ZEMES SPIEDIENA LIELUMA NOTEIKŠANA

Pēc Coulomb'a teorijas, aktīvā zemes spiediena lieluma noteikšanai iziet no pa-

matstāvokļa, kāds parādīts blakus zīmējumā. Pieņem, ka nobrukuma virsma AC ir zināma. Nobrukuma prizmas pašsvars $G = \Delta ABC \cdot 1,0 \cdot \gamma \text{ t/m}^3$

(1,0 m platai joslai) Šis G ir pielikts ΔABC smaguma centrā. Spēks, kas grib pārvietot atbalsta sienu, ir nobrukuma prizmas pašsvars G . Nobrukuma prizma kā zemes ķīlis iespiežas starp sienu AB un nobrukuma virsmu AC. Lai siena nekustētos, šo G līdzsvaro ar divām reakcijām: $E =$ sienas reakcija (= pretspiediens aktīvam zemes spiedienam) un $R =$ zemes re-



akcija no mierā palikušās zemes ķermeņa (zeme aiz nobrukuma virsmas AC). Līdzsvara dēļ šiem 3 spēkiem jākrustojas vienā punktā, resp. spēku poligonam jāslēdzas. (Faktiski šie 3 spēki nekrustojas vienā punktā, jo dabā neveidojas plakne AC, bet cilindriskā virsma). Spēku plaknē raksturo 3 lielumi: 1) lielums, 2) virziens un 3) pielikšanas punkts. Ja atrasta nobrukuma virsma AC, tad var aprēķināt G lielumu (nobrukuma prizmas svars), virzienu (vertikāli uz leju - smaguma spēks) un pielikšanas punktu (ΔABC smaguma centrā). Nav zināmi E un R , kas līdzsvaro šo G . Katram ir 3 nezināmi, tā tad uzdevums 3 reiz statistiski nenoteikts (6 nezināmi - 3 līdzsvara noteikumi = 3 nezināmi). Lai atrisinātu šo statistiski nenoteikto uzdevumu, Coulomb's aprēķinu attiecina uz mirkli, kad no maksimālā zemes spiediena siena sāk kustēties uz priekšu un nobrukuma prizma kā ķīlis slīd uz leju. Viņš nosaka G , max E un R spēku līdzsvaru šinī mirklī, kas ir atbalsta sienas stabilitātei visneizdevīgākais. No šī Coulomb'a pieņēmuma dabū E un R spēku virzienus: E virziens novirzas no normales (stātņa) pret sienu par berzes leņķi δ , jo tikai tad E var pārvarēt pie kustības berzes spēku starp sienu un zemi; tāpat arī R virziens novirzas no normales pret nobrukuma virsmu AC par zemes iekšējās berzes leņķi φ (= dabīgās nogāzes leņķis). (Skat. par berzi statikas kursā, ^{arī} prof. Rozenauer'a "Statikā 30.lpp.; arī Foerster'a rokasgrāmatā 165.lpp. u.c.). Zinot E un R spēku virzienus, var no spēku poligona atrast analitiski vai grafiski to lielumus. No spēku trijstūra:

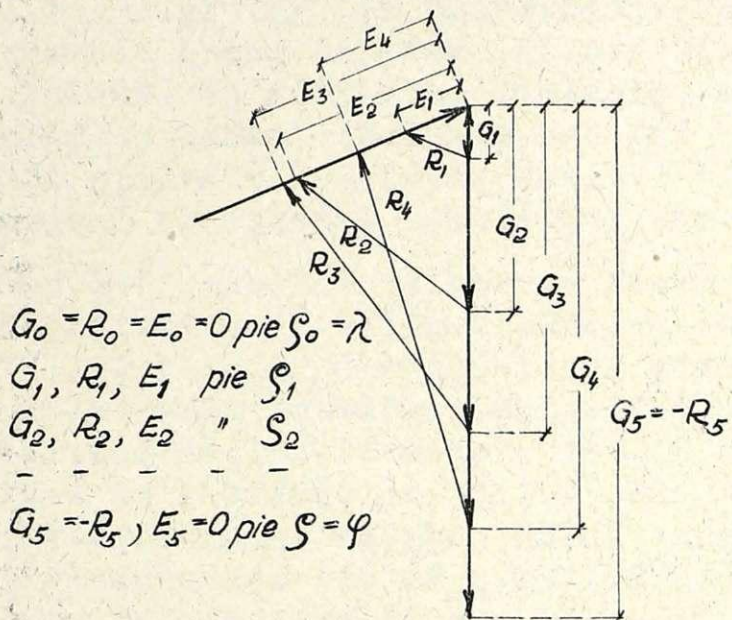
$$E = G \cdot \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\sin(\varphi + \delta - \varphi)} - \text{Coulomb'a sakarība (gūst no sinusa izteiksmes, ievērojot,$$

ka $\sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$, jo spēki, = trijstūra malas, attiecas kā pretējo leņķu sinusi). E spēka pielikšanas punktu atrod īpaši un par to būs runa turpmāk. Kā redzams, ar augstāk aprakstīto Coulomb'a pieņēmumu, var atrisināt uzdevumu, ja dots nobrukuma prizmas pašsvars G , resp. nobrukuma virsma AC ar nobrukuma leņķi φ . Bet nav iespējams tik labi izpētīt zemi aiz sienas, lai varētu aprēķināt vai citā ceļā noteikt nobrukuma virsmu, resp. leņķi φ . Tas atkarājas no dažādiem apstākļiem un vispār leņķis φ laikā ir mainīgs (funkcija no φ u.t.t.). Praksē gadas, ka, nojaucot kādu atbalsta sienu (resp. attālinot

to no zemes), tai neseko nekāda zemes prizma (ķīlis), - zeme paliek mierīgi stāvēt. Tas pierāda, ka zemes spiediens sienas noņemšanas brīdī ir bijis līdzīgs nullei, resp. nobrukuma virsma AC sakrīt ar sienas malu AB ($\varphi = \lambda$). Tā ir viena robeža. Otrā robeža būs, kad AC sakrīt ar dabīgo nogāzi AD, resp. $\varphi = \psi$. Atkarībā no nobrukuma leņķa φ izmaiņas, mainās arī G, E un R. G lielums un R virziens ir atkarīgs no φ , bet E lielums ir atkarīgs no G lieluma, resp. netieši arī no φ . Ar φ samazināšanos (tuvojot leņķim ψ), palielinās G un R, bet E palielinās līdz kādai robežai, pēc kuras sasniegšanas E sāk atkal samazināties. Tas tāpēc, ka leņķim φ mainoties, mainās arī R virziens. Šis apstāklis, kas uzskatāmi rādīts zīmējumā, ir par iemeslu E svārstībām no nulles pie $G_0 = 0$ un $R_0 = 0$, līdz otrreizējai nullei pie $G_5 = -R_5$ (leņķis starp G un R līdzīgs nullei, resp. $\varphi = \psi$), sasniedzot kautkur vidējā stāvoklī savu maksimālo nozīmi (zīm. $\max E = E_3$).

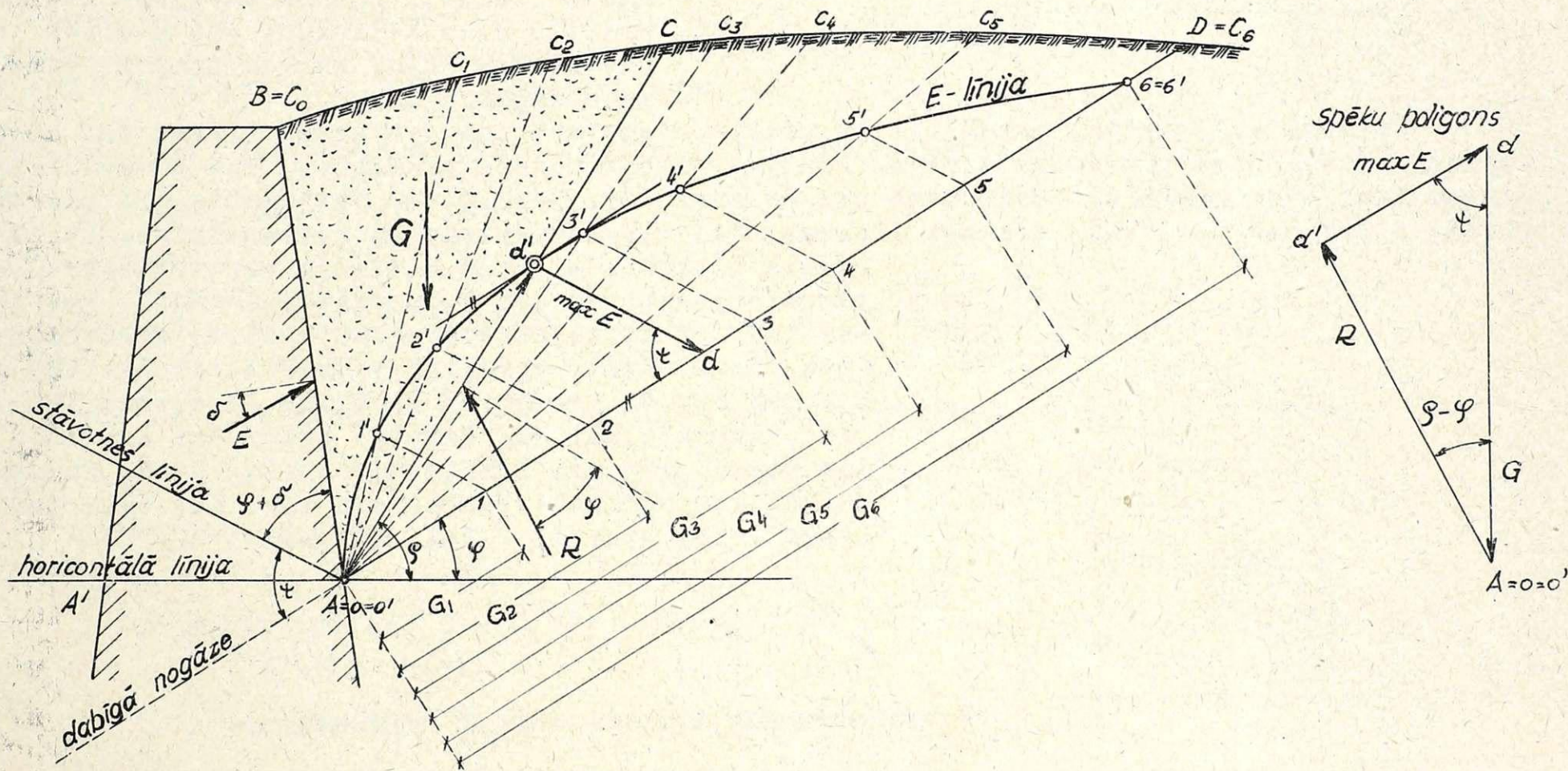
Coulomb'a savā teorijā nosaka šo max E un atbalstsienas veido tā, lai tā spētu šo max E uzņemt. Patiesais zemes spiediens būs mazāks par max E un līdz ar to aprēķinā ievesta drošība.

Kā atrast max E, resp. tam atbilstošu nobrukuma virsmu ar nobrukuma leņķi φ ? Ir divi paņēmieni: grafiskais un analītiskais.



Grafiskais paņēmiens: Kulmaņa E-līnija

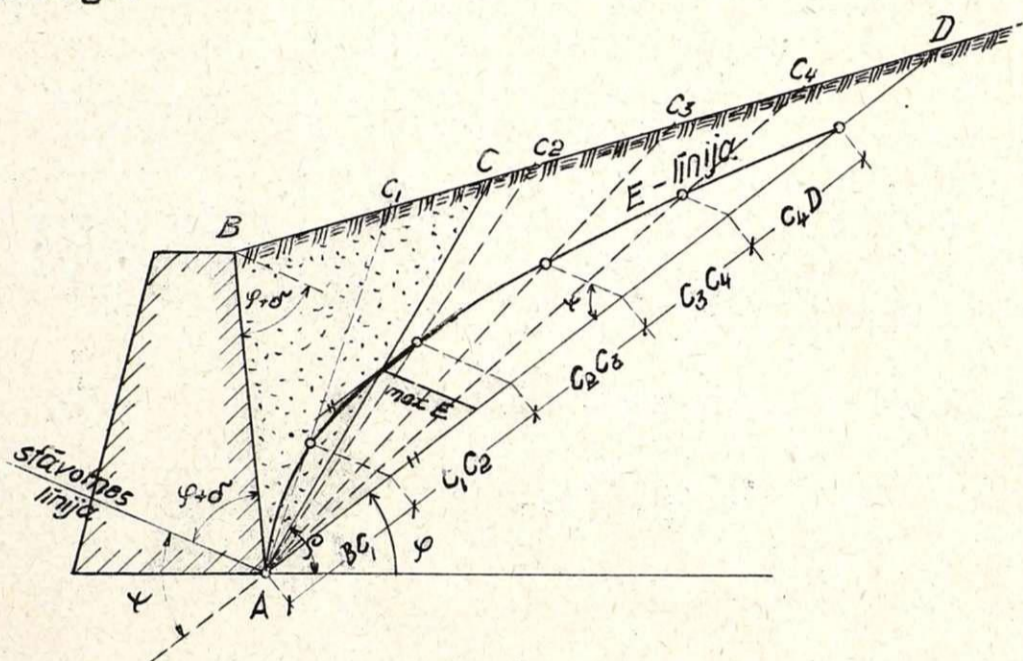
Culmann's (Kulmanis) atrada 1866.g. grafiski E - līniju un arī max E.



Zīmējumā atrasta Culmann'a E līnija atbalsta sienas augšējai daļai līdz šķēlienam AA'. Pilnīgi tāpat varētu to atrast kuram katram citam šķēlienam vai visai sienai.

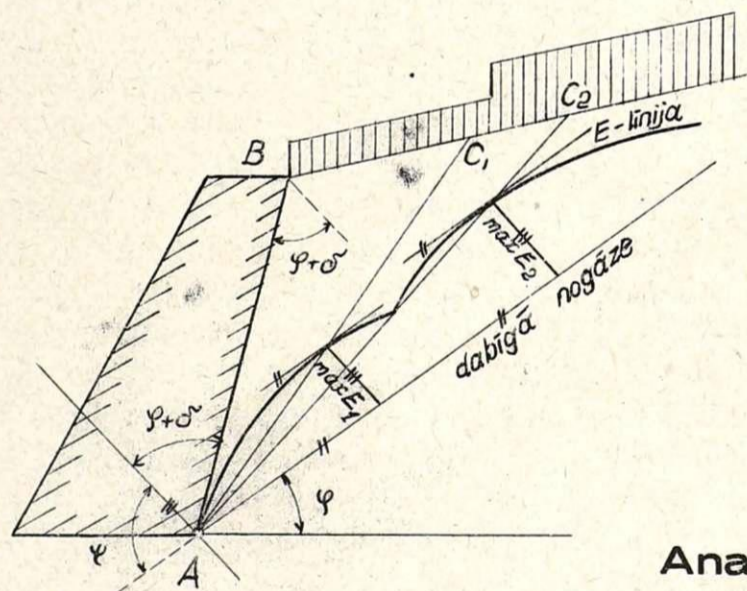
Pēc Culmann'a atrod mēģinājuma ceļā max E, vispirms veidojot E-līniju. Tam nolūkam brīvi pieņem dažādus nobrukuma leņķus φ , resp. nobrukuma virsmas: $AC_0 = AB$ (nobrukuma virsma sakrīt ar sienu AB), $AC_1, AC_2, AC_3, AC_4, AC_5$ un $AC_6 = AD$ (nobrukuma virsma sakrīt ar dabīgo nogāzi). Tad aprēķina atbilstošās nobrukuma prizmas svarus $G_0 = 0, G_1 = \Delta ABC_1 \cdot l, 0, \delta, G_2 = \dots$ u.t.t., kurus atliek kautkā mērogā uz AD (uz dabīgo nogāzi) no punkta A. No G gala punktiem 0, 1, 2 ... 6 velk zem leņķa ψ (leņķis starp E un G

spēku poligonā) pret AD, resp. paraleli t.s. stāvotnes līnijai, taisnes līdz krustošanai ar attiecīgu nobrukuma virsmu punktus $o', 1', 2' \dots 6'$. Dabūtos punktus $0', 1', 2' \dots 6'$ savienojot, dabū likni, hiperbolu, ko sauc par C u l m a n n ' a E - l ī n i j u. Salīdzinot trijstūrus $A 1'1, A 2'2 \dots$, var redzēt, ka tie līdzīgi spēku poligonu trijstūriem, kas zīmēti ar leņķi ψ (konstants), G (atkarīgs no ξ) un leņķi $\xi - \psi$ (mainīgs, atkarīgs no ξ). Šeit tikai spēku poligona trijstūri pagriezti, lai spēku G virzieni sakristu ar dabīgo nogāzi AD. No tā izriet, ka nogriežņi $11', 22', 33'$ u.t.t. dod attiecīgā mērogā (tādā pat, kādā nolikti svāri G) atbilstošus E_1, E_2, E_3 u.t.t. lielumus. Pēc Coulomb'a teorijas istā nobrukuma virsma AC būs tā, kas dod max E. Šo max E un atbilstošo nobrukuma virsmu dabū, velkot E-līnijai pieskari paraleli AD līnijai. Tā iegūst punktu d' , caur kuru iet nobrukuma virsma AC, kas dod maksimālo zemes spiedienu: max E. Pašu max E arī var tūlīt atrast, novelkot no d' taisni paraleli stāvokļa līnijai līdz krustošanai ar AD punktā d. Nogrieznis dd' dod max E lielumu, nolaset to G spēku mērogā.



Ja zemes virsma ir līdzena, tad nobrukuma prizmas svāri G ir proporcionāli pamata nogriežņiem BC_1, BC_2 u.t.t. Tā pēc E-līnijas iegūšanai neapņēkina svārus G , bet vienkārši noliek nogriežņus BC_1, BC_2 u.t.t. no punkta A uz dabīgo nogāzi AD un augstāk aprakstītā veidā atrod E-līniju un arī nobrukuma virsmu AC, kas dod max E vērtību. Lai gūtu max E lielumu, vajaga aprēķināt nobrukuma prizmas ABC svāru un pēc tam no attiecīgā spēka poligona grafiski vai analitiski (skat. sakarību 14. lpp.) nosaka max E lielumu. Praksē nevajaga izziņēt precīzi visu E-līniju, bet pietiek ar tās vidējo daļu, kur uz piedzīvojumu pamata sagaida max E.

Culmann'a E-līnijas paņēmiens ir pielietojams arī tad, ja zemes virsma vai sienas skaldne AB veidotos pēc kādas laužas līnijas. Tāpat to var pielietot, kad zemes virsma noslodzēta; tad, aprēķinot nobrukuma prizmu svāru G_1, G_2 u.t.t., jāieskaita arī pie attiecīgās prizmas piederību slodzes lielumu. Kad virsma noslodzēta nevienmērīgi, kā tas



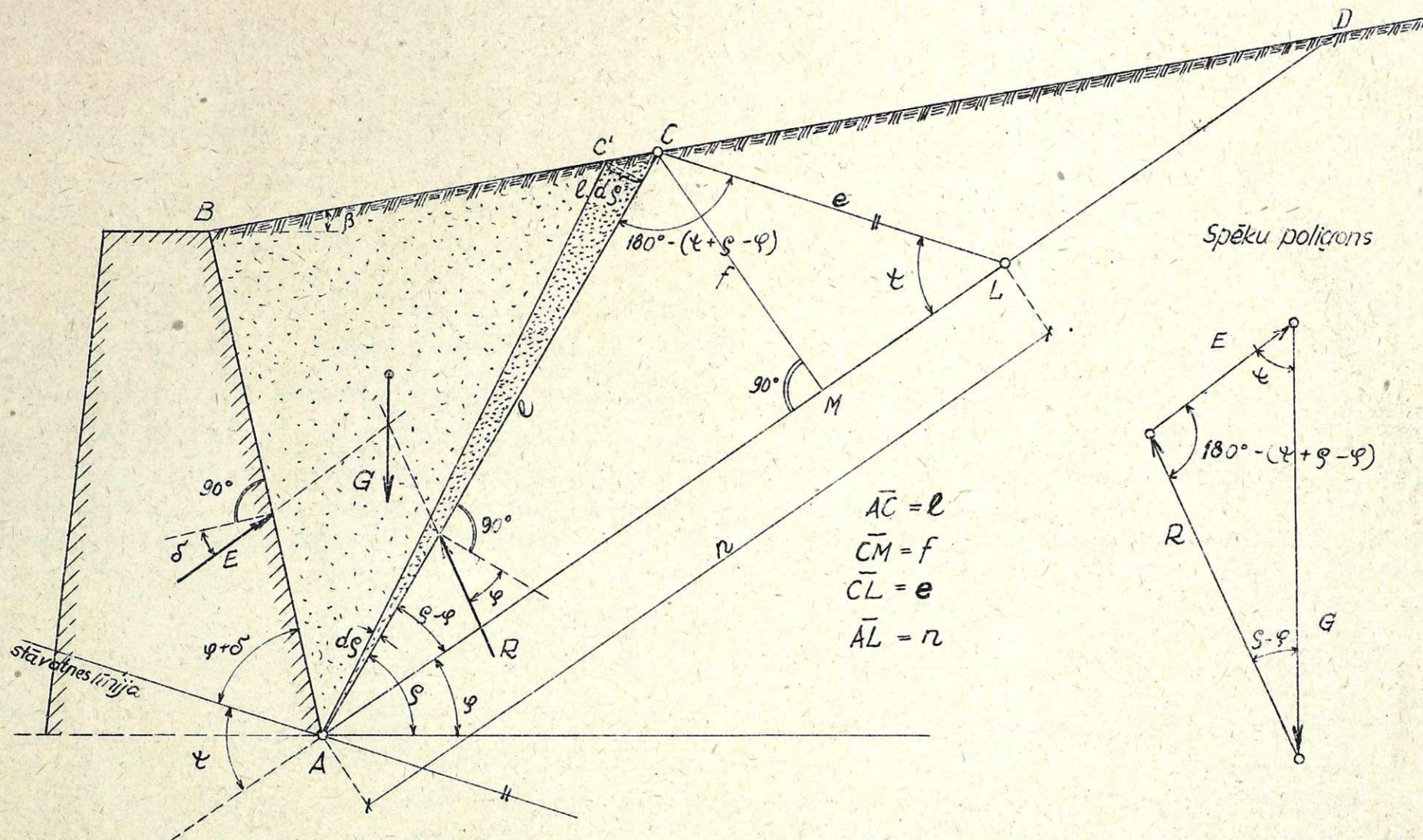
rādīts blakus zīm., tad E-līnija var veidoties ar lūzumiem, kas var dot 2 un vairākus max E. Tas gādās tad, ja divas koncentrētas slodzes novietotas tuvu viena otrai. Aprēķinā jāskaitas ar lielāko max E - max max E. Parasti E aprēķina ar noteiktību līdz vienai zīmei aiz komata, piem. max E = 13,3 t. Jau pirmā zīme aiz komata nav droša. Bieži Culmann'a E-līnijas paņēmiens jāpielieto tur, kur citi paņēmieni nedod atbildi (skat. turpmāk).

Analitiskie paņēmieni max E noteikšanai

Doti: siena AB, plakana zemes virsma ar leņķi β pret horiz., dabīgās nogāzes leņķis ψ = iekšējās berzes leņķis, berzes leņķis δ starp zemi un sienu, zemes tilpuma svārs γ . Jāatrod max E. Pēc 14. lpp. sakarības:

$$E = G \cdot \frac{\sin(\xi - \psi)}{\sin(\psi + \xi - \psi)} \quad (\text{no } G, E \text{ un } R \text{ spēku poligona}). \quad \text{Šis ir pamatnolīdzinājums.}$$

Ir sastādītas tabeles, kur E noteikts atkarībā no sienas izveidojuma, ψ, δ, γ . (Krey'a, Müller - Breslau'a, Müller'a - ir nepareizības, Mehrtens'a - kļūdains).



Nobrukuma leņķis ρ ir mainīgs lielums. Grafiskais Culmann'a E-līnijas paņēmieni rāda, kā max E atrod, velkot pieskari E-līknei (hiperbolei), t.i. matematisks valodā-jā-atrod E-līknes max. Šis max atradīsies tur, kur $\frac{dE}{d\rho} = 0$, resp. kur $dE = 0 = d \frac{G \cdot \sin(\rho - \varphi)}{\sin(\psi + \rho - \varphi)}$

Šinī izteiksmē divi mainīgi lielumi ρ un G , kas ir funkcija no ρ .

No matematisks: $d\left(\frac{u}{v}\right) = \frac{vdu - udv}{v^2}$ un $d(uv) = udv + vdu$. Tā tad apskatamā izteiksme rakstama šādi :

$$d \frac{G' \cdot \sin(\rho - \varphi)}{\sin(\psi + \rho - \varphi)} = \frac{\sin(\psi + \rho - \varphi) \cdot d[G \cdot \sin(\rho - \varphi)] - G \cdot \sin(\rho - \varphi) \cdot d[\sin(\psi + \rho - \varphi)]}{\sin^2(\psi + \rho - \varphi)} = 0$$

Lai šī izteiksme = 0, tad skaitītājam jābūt nullei, resp. :

$$\sin(\psi + \rho - \varphi) \cdot \left[G \cdot \cos(\rho - \varphi) + \frac{dG'}{d\rho} \cdot \sin(\rho - \varphi) \right] - G \cdot \sin(\rho - \varphi) \cdot \cos(\psi + \rho - \varphi) = 0$$

Tālāk pārveidojot:

$$G \left[\cos(\rho - \varphi) \cdot \sin(\psi + \rho - \varphi) - \sin(\rho - \varphi) \cdot \cos(\psi + \rho - \varphi) \right] = - \frac{dG}{d\rho} \cdot \sin(\rho - \varphi) \cdot \sin(\psi + \rho - \varphi)$$

No trigonometriks: $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta - \cos \alpha \cdot \sin \beta$. Šinī gadījumā: $\alpha = (\psi + \rho - \varphi)$, $\beta = (\rho - \varphi)$ un $\sin(\alpha - \beta) = \sin [(\psi + \rho - \varphi) - (\rho - \varphi)] = \sin(\psi + \rho - \varphi - \rho + \varphi) = \sin \psi$, tāpēc:

$$G \cdot \sin \psi = - \frac{dG}{d\rho} \cdot \sin(\rho - \varphi) \cdot \sin(\psi + \rho - \varphi) \dots \dots (\alpha')$$

Pieņemot, ka $\overline{AC'} = \overline{AC} = l$ (pie bezgalīgi maza $d\rho$), tad nobrukuma prizmas svāra pieaugums (dodot nobrukuma leņķim ρ pieaugumu $d\rho$, svāra pieaugums ir negatīvs) : $dG = (\Delta ACC' \cdot 1,0 \text{ m} \cdot \gamma) = - \frac{1}{2} l \cdot l \cdot d\rho \cdot \gamma = - \frac{1}{2} l^2 \cdot d\rho \cdot \gamma$, un tad $\frac{dG}{d\rho} = - \frac{1}{2} l^2 \cdot \gamma$

Ieliekot atrasto $\frac{dG}{d\rho}$ vērtību (α') sakarībā, dabū

$$G \cdot \sin \psi = \frac{1}{2} l^2 \cdot \gamma \cdot \sin(\rho - \varphi) \cdot \sin(\psi + \rho - \varphi) \dots \dots (\alpha'')$$

(α'') sakarības vienkāršošanai no ΔACM : $\sin(\rho - \varphi) = \frac{f}{l}$ un no ΔACL :

$$\frac{l}{\sin \psi} = \frac{n}{\sin[180^\circ - (\psi + \rho - \varphi)]}; \quad \sin[180^\circ - (\psi + \rho - \varphi)] = \sin(\psi + \rho - \varphi),$$

tad $\sin(\psi + \rho - \varphi) = \frac{n}{l} \cdot \sin \psi$. Ieliekot $\sin(\rho - \varphi)$ un $\sin(\psi + \rho - \varphi)$ vērtības (α'') sakarībā, dabū:

$$G \cdot \sin \psi = \frac{1}{2} \gamma^2 \cdot \gamma \cdot \frac{f}{l} \cdot \frac{n}{l} \cdot \sin \psi$$

$$G = \frac{1}{2} \cdot f \cdot n \cdot \gamma \quad \dots (\alpha) \quad \text{Rebhann'a sakarība (1871.g.)}$$

G - nobrukuma prizmas ABC svars ($\Delta ABC.l, 0, \gamma$), kas dod max E; $\frac{1}{2} \cdot f \cdot n =$ trijstūra ACL laukums. Kā redzams, svars G (no prizmas ABC) = trijstūra laukumam ACL (citā vietā), reizinātam ar γ . Tas nozīmē, ka $\Delta ABC = \Delta ACL$ Šis ir Rebhann'a pierādījums. Tā tad kopā saņemot, nobrukuma virsmas (kam atbilst max E) noteikšanai vajaga atrast tādu taisni AC, pie kuras $\Delta ABC = \Delta ACL$. Ja tā atrasta, tad maksimālo zemes spiediena lielumu var noteikt pēc sakarības, kas atrasta turpmāk. ΔACL ir līdzīgs spēku poligona trijstūrim (abu trijstūru stūros riņķīši) un tāpēc:

$$\frac{G}{E} = \frac{n}{e}; \quad E = G \cdot \frac{e}{n} = \frac{1}{2} \cdot f \cdot n \cdot \frac{e}{n} = \max E$$

$$\max E = \frac{1}{2} f \cdot e \cdot \gamma \quad \dots (\beta) \quad \text{arī Rebhann'a sakarība.}$$

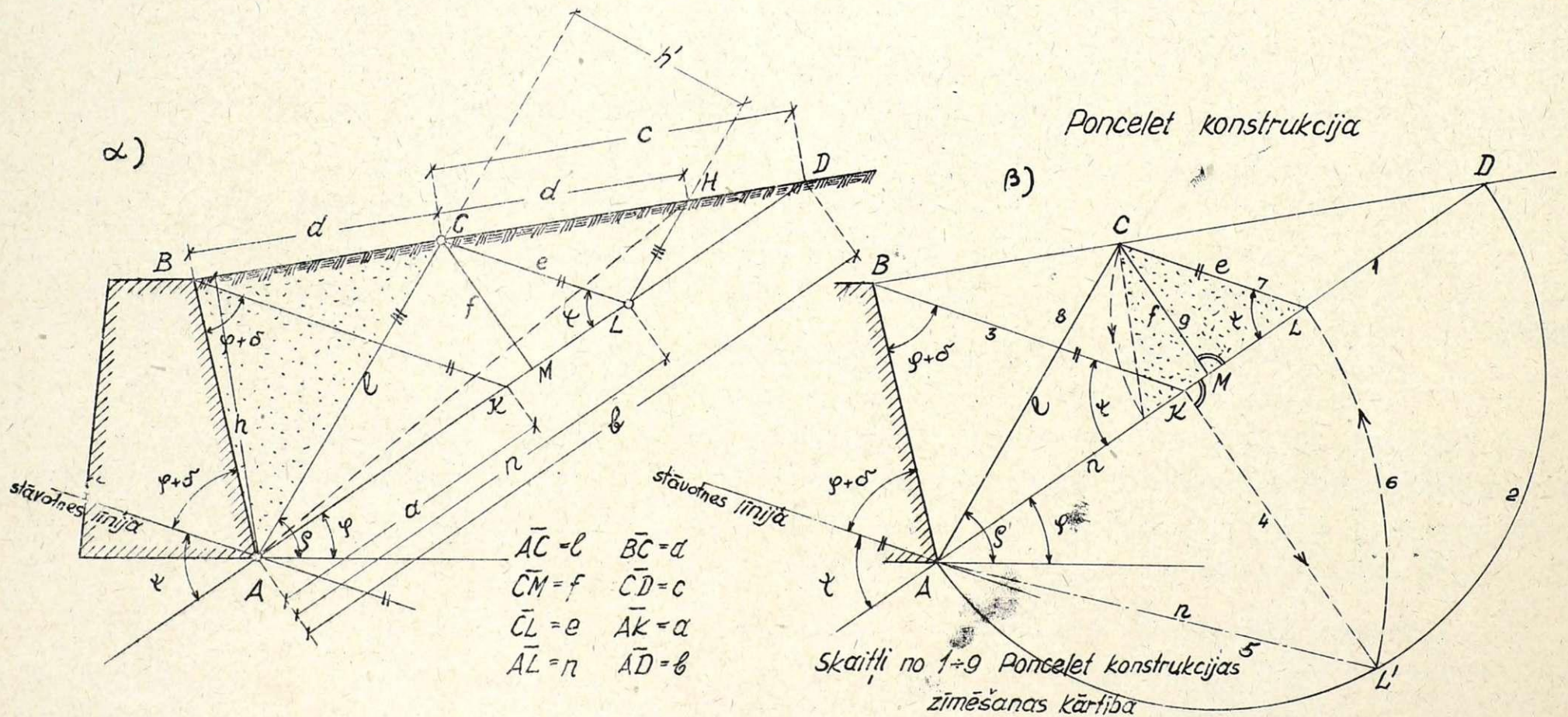
Sakarība atrasta plakanai zemes virsmai bez noslodzējuma, bet tā der arī, kad virsma lika un noslodzēta. Pēdējā gadījumā atbilstoši jāizteic lielums γ , par ko rakstīts turpmāk. Rebhann'a sakarības (α un β) dod iespēju arī grafiski atrast max E vērtībai atbilstošu nobrukuma virsmu un noder par pierādījumu Poncelet konstrukcijai.

n, f, e GRAFISKĀ ATRAŠANA.

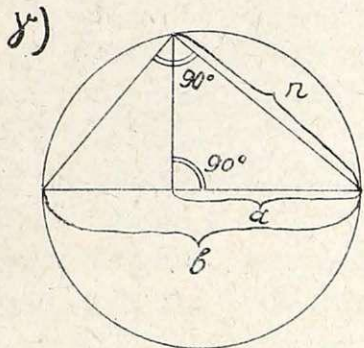
1) Poncelet konstrukcija.

Pēc Rebhann'a teoremas $\frac{G}{\gamma} = \frac{1}{2} \cdot f \cdot n = \Delta ABC$
 ΔACL

No tā izriet n, f, e grafiskā atrašana: Velk BK zem leņķa $\varphi + \delta$ no punkta B (resp. || stāvotnes līnijai). $\Delta ACD \sim \Delta LHD$ un $\Delta BDK \sim \Delta CDL$. Trijstūri ACL un ACH ir vienādi lieli, jo tiem ir kopējs pamats $AC = l$ un vienāds augstums h' . Bet tā ka $\Delta ACL = \Delta ABC$, tad arī



$\triangle ACH = \triangle ABC$. Šiem beidzamiem trijstūriem ir vienāds augstums h , tāpēc arī pamatiem BC un CH jābūt vienādiem un tad arī $CH = d$. Tagad uz trijstūru ACD un LHD līdzības pamata: $\frac{b}{n} = \frac{c}{d}$; uz trijstūru KBD un LCD līdzības pamata $\frac{b-n}{n-a} = \frac{c}{d}$; tad $\frac{b}{n} = \frac{b-n}{n-a}$, no kurienes $n^2 = ab$, resp. $n = \sqrt{ab}$. Kad dabūts n , tad noteikts punkta L stāvoklis. Caur punktu L velk \parallel taisni stāvotnes līnijai (resp. BK) un nosaka punktu C . No punkta C velk stateni līnijai AD ; līdz ar to noteikti e un f lielumi. Poncelet konstrukcija (1840.g.) dibinas uz šo Rebhann'a sakarību. Poncelet atrod n grafiski kā vidējo geometrisko starp lielumiem a un b . No zīmējuma $\frac{n}{a} = \frac{b}{n}$; $n^2 = ab$, resp. $n = \sqrt{ab}$. Pon-



- celet konstrukcija (skat. zīm. β):
- 1) uzzīmē AD , atliekot leņķi φ .
 - 2) Sadala AD uz pusēm un apraksta pusaploci.
 - 3) No punkta B velk līniju \parallel stāvotnes līnijai līdz krustošanai ar AD punktā K .
 - 4) No punkta K velk stateni līdz krustošanai ar aploci, dabū punktu L' $AL' = n$.
 - 5) Punktu L' pārnes ar radiusu $AL' = n$ uz AD , dabū punktu L . $AL = n = AL'$.
 - 6) No punkta L velk taisni \parallel stāvotnes līnijai līdz krustošanai ar BD , dabū punktu C . Savienojot C ar A , dabū nobrukuma virsmu AC .

$CL = e$, statenis no C uz AD ir f . Tagad var atrast max E no Rebhann'a (β) sakarības: $\max E = \frac{1}{2} f \cdot e \cdot \gamma$. Šis ir itkā trijstūra laukums, kura augstums ir f un pamats e , reizināts ar γ (zīmējumā šis iedomātais trijstūris punktēts).

Pie Poncelet konstrukcijas punktiem B , C un D jāatrodas uz vienas taisnes. Šo konstrukciju nepielieto, ja ir neparasti apstākļi (piem. zemes virsma ir stipri slīpa u.t.t.).

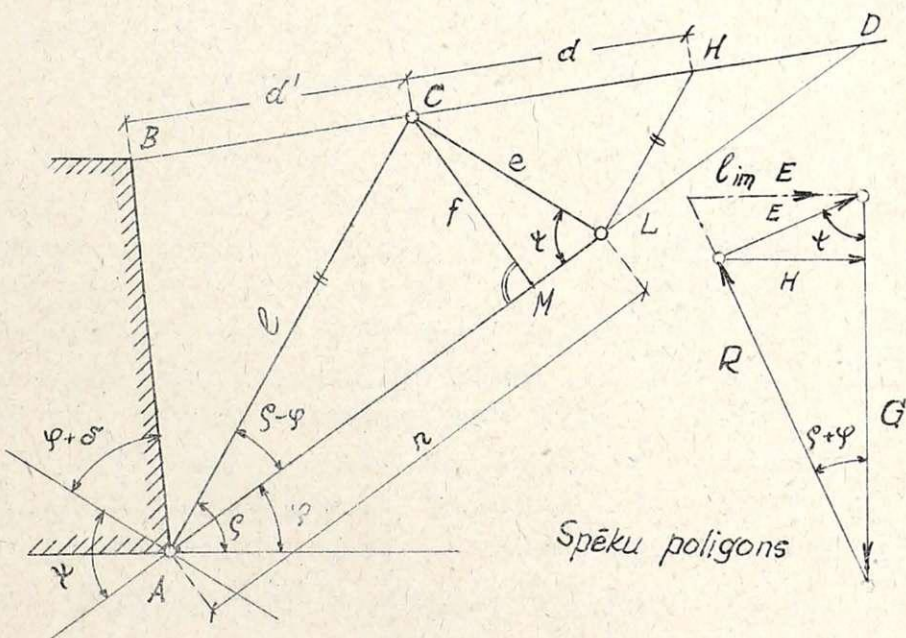
2) Mund'a paņēmieni.

Handbuch für Eisenbetonbau 4. daļā: "Stützmauern Grundbau" ir viscauri pielietots autora Mund'a paņēmieni Poncelet konstrukcijas vietā, kāpēc minēto grāmatu lietojot, pirmā kārtā jāiepazīstas ar to. (Paņēmieni aprakstīti 1936.g. izdevumā 37.-39.lpp.)

Mund'a paņēmieni ir kautkas vidējs starp Culmann'a E-līnijas un Poncelet paņēmieniem. Salīdzinot ar Culmann'a E-līniju, Munda paņēmienam ir tā priekšrocība, ka neprasa lieku rēķināšanu (pie Culmann'a vajadzēja izskaitļot dažādu prizmu svarus). Salīdzinot ar Poncelet konstrukciju, Munda paņēmieni neprasa tik daudz telpas, sevišķi pie slīpām zemes virsmām, kad D atrodas ļoti tālu.

Atsevišķi gadījumi

1) V i s p ā r ī g a i s g a d i j u m s .



No līdzīgiem trijstūriem: $E : R : H : G = e : l : f : n$

H ir E horizontālā komponente (robeža E vērtībai, kad vietā Rankinē vienkāršojums - skat. turpmāk).

$$E = \gamma \cdot \frac{1}{2} f \cdot e \quad G = \gamma \cdot \frac{1}{2} f \cdot n, \text{ tāpēc:}$$

$$R = \gamma \cdot \frac{1}{2} f \cdot l$$

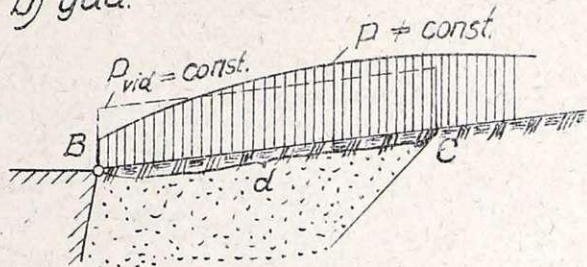
$$H = \gamma \cdot \frac{1}{2} f^2$$

let konstrukciju atrast e' un f' . (Zīmējumā nepārtrauktās līnijās izvilka Poncelet konstrukcija parastai zemes virsmai, bet raustītās līnijās - reducētai zemes virsmai). Tad pēc Rebhann'a sakarības:

$$E = \frac{1}{2} f' \cdot e' \cdot \gamma = \frac{1}{2} f \cdot e \cdot \gamma' . \quad \text{Ja aprēķinu skaitļojumi pēc katras izteiksmes at-$$

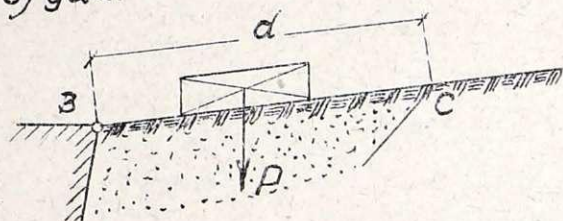
sevišķi uzrāda nesaskaņu, tad tā izsaukta no rasējuma un mēroga kļūdām, tāpat no izdarītiem noapaļojumiem

b) gad.



b) Ja $p \neq \text{const.}$, t.i. uz zemes virsmas atrodas kāda nevienmērīgi izklaidēta slodze, tad p vietā pieņem kādu vidēju vērtību, $p_{\text{vid}} = \text{const.}$ p_{vid} dabū, ja slodzi (P), kas atrodas rajonā BC, dala ar d : $p_{\text{vid}} = \frac{P}{d}$, resp. $P = p_{\text{vid}} \cdot d$ p_{vid} apzīmē ar p .

c) gad.

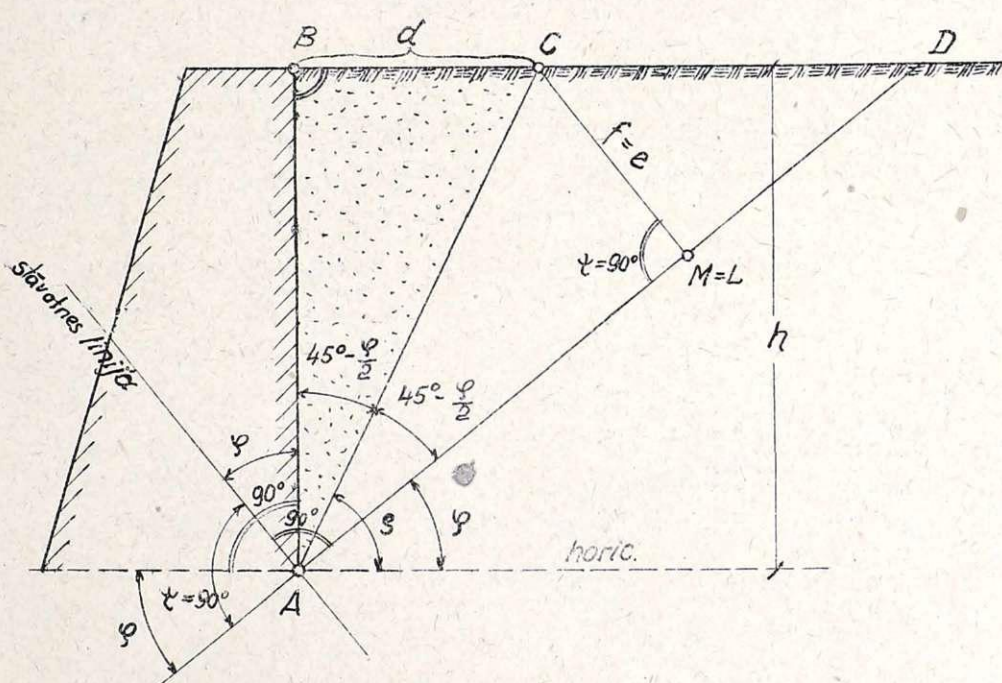


c) Zemes virsma noslogota pa daļai, piemēram ar koncentrētu slodzi P . Šinī gadījumā atrod p_{vid} šādi: $p_{\text{vid}} = \frac{P}{d}$. Koncentrēto slodzi P iedomājas sadalītu uz visu laukumu vienmērīgi. Parasti dabā koncentrēti spēki ir vairāk vai mazāk izklaidēti pa zemes virsmu un šī izklaidējuma robežas pieņemamas līdz ar dziļumu. Šo c) gad. var aprēķināt arī precizāk (skat. turpmāk).

Ja zemes virsma cilindriskā un tā vēl noslodzēta ar kādu slodzi, tad jāsaņem 2) un 3) aprakstītie paņēmieni. Ar šādiem vienkāršojumiem, reducējot liko zemes virsmu pie taisnes vai atrodot reducētu zemes tilpuma svaru γ' , var max E aprēķināt pēc Rebhann'a un Poncelet. Tomēr bieži vien šādos grūtākos gadījumos ir izdevīgāki pielietot Culmann'a E-līnijas paņēmieni.

- 4) Gadījums, kad: a) siena (AB) ir vertikāla, t.i. $\alpha = 0$
 b) zemes virsma ir horizontāla, t.i. $\beta = 0$
 c) berzes leņķis starp zemi un sienu $\delta = 0$

Šis ir viens no gadījumiem, ko aprēķinu praksē visbiežāk lieto. Leņķi δ pielīdzina nullei, sevišķi pie dzelzceļu tiltiem, kur pastāv prasība pēc vislielākās drošības (satricinājumi u.t.t.).



Salīdzinot leņķus pie (.)A: $90^\circ + \varphi = \psi + \varphi$, resp. $\psi = 90^\circ$, izrādās, ka stāvotnes līnija ir $\perp AD$. Tādā gadījumā $f = e$, un pēc Rebhann'a pierādījuma (18.lpp.) tad $\triangle ABC = \triangle ACM$. Šiem trijstūriem ir kopējs pamats AC, tāpēc arī augstumam $CM = f = e$ jābūt vienādam ar augstumu $BC = d$, t.i. $f = e = d$ un tā tad arī $AM = AB = h$. No tā seko, ka $\sphericalangle BAC = \sphericalangle CAM = \frac{90^\circ - \varphi}{2} = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$ Līdz ar to $f = e = d = h \cdot \text{tg}(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$; ieliekot atrasto vērtību Rebhann'a sakarībā $E = \frac{1}{2} \gamma \cdot f \cdot e$, dabū:

$$E = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

Rankine sakarība (1858).

Šī sakarība ir atvasināta no Rebhann'a sakarības, bet to var dabūt arī tieši no Coulomb'a sakarības (14.lpp.) ar diferencēšanu, kā to darījis arī Rankine (Rebhann'a sakarība atrasta 1871.g., bet Rankine 1858.g.). Ja virs zemes ir vēl slodze, tad sakarībā jāievēd reducētais zemes tilpuma svārs γ'

$$E = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot h^2 \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \frac{1}{2} (\gamma' + \frac{2p}{h}) h^2 \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) =$$

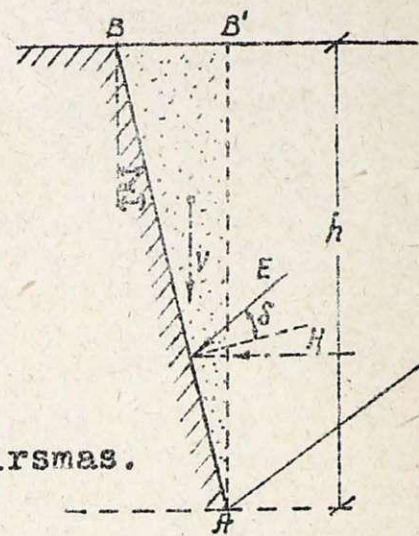
$$= \underbrace{\frac{1}{2} \gamma h^2 \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})}_{E_\gamma} + \underbrace{p \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})}_{E_p} = E_\gamma + E_p$$

resp. $E_\gamma = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ - no zemes pašsvara,

$$E_p = p \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

- no zemes pašsvara,

- no slodzes uz zemes virsmas.



No šīm sakarībām redzams, ka zemes spiediena lielums no pašas zemes palielinājas atkarībā no dziļuma kvadrāta, bet no slodzes uz zemes virsmas - atkarībā no dziļuma pirmā pakāpē.

Šīs Rankine sakarības pareizas un atbilst Coulomb'a teorijai, ja $\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\delta = 0$, bet praksē tās ļoti bieži pielieto arī citos ($\alpha \neq 0$, $\beta \neq 0$, $\delta \neq 0$) gadījumos, gan tikai pie iepriekšējiem aptuveniem aprēķiniem un ja nav pie rokas tabeles. Tā pie laužtām vai slīpām sienām zemes spiedienu vienkārši aprēķina no divām komponentēm, ko var vektoriāli sumēt (analitiski vai grafiski). Viena komponente ir horizontālais zemes spiediens (19.lpp. apzīmēts ar H), ko aprēķina ar augšējo Rankine sakarību (itkā $\alpha = 0$, $\beta = 0$ un $\delta = 0$), otra komponente ir zemes prizmas svars, kas atrodas starp sienu (AB) un vertikāli, vilkta no pamata pēdas punkta (A), resp. no sienas sekcijas, līdz kurai meklē zemes spiedienu. Piem. augšējā zīmējumā komponente H aprēķināma ar Rankine sakarību iedomātai sienai AB', V komponente ir prizmas ABB' svars. $E = \sqrt{H^2 + V^2}$. E virziens jāņem zem leņķa δ starp sienas AB stateni. E pielikšanas punktu atrod no specifiskā spiediena diagrammas, kas zīmēta itkā vertikālai sienai (par pielikšanas punktu skat. tālāk). Ja siena ir laužta līnija, tad aprēķinā E_{1-1} , E_{2-1} , E_{3-2} ... katrai sienas daļai starp lūzumiem, tad viss E ir to kopspēks (skat. prof. Jakobi *Расчеты надерезных*. 1922.g.)

Rankine sakarības varētu arī pārveidot, ievērojot, ka $\alpha \neq 0$, $\beta \neq 0$, $\delta \neq 0$, pie tam tā, lai daļa, kas nesatur trigonometriskus lielumus, paliktu nemainīga, bet leņķi mainītos. Šādas sakarības iznāk komplicētas un tās praksē nelieto. Praksē lieto tabeles, kur šie trigonometriskie lielumi ietverti koeficientā, ar ko reizina konstanto daļu, piem.

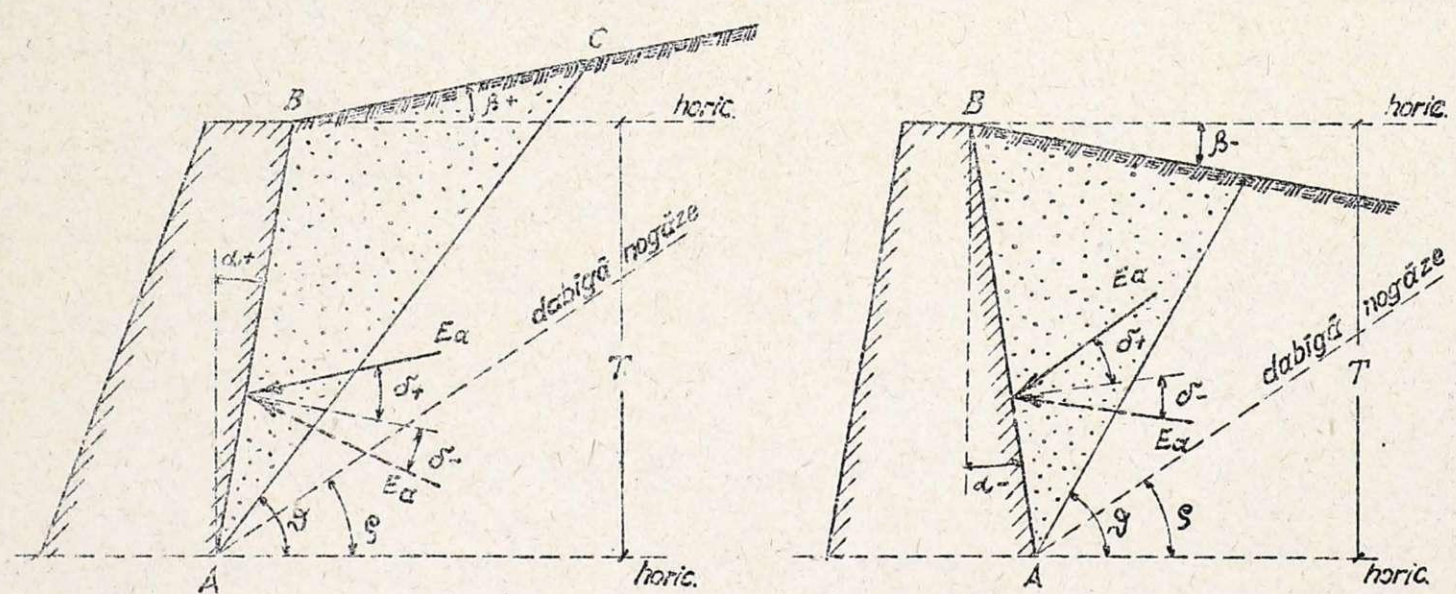
$$E = \frac{1}{2} \gamma h^2 \cdot \lambda$$

Koef. λ ir atkarīgs no leņķiem φ , α , β , δ un to dabū ērti un ātri no tabelēm.

Šādas tabeles var atrast: Krey, *Erdruck, Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes*, Müller, *Erddrucktabellen*, Hütte III (saīsinātas tabeles, mainīgs tikai φ), Beyer, *Statik im Eisenbetonbau*, *Beton-Kalender II* daļā.

Krey'a tabeles (4. izd. 1932.g., sākot ar 295.lpp.) sastādītas, aprēķinot zemes spiedienu pēc pārveidotās Rebhanna sakarības (Poncelet konstr.) dažādiem gadījumiem.

Tabelēs lietoti apzīmējumi, kas redzami blakus zīm. Jāievēro, ka dabīgās nogāzēs leņķis šeit apzīmēts ar ρ (ne ar φ) un nobrukuma leņķis ar ϑ (ne ar φ). Zīmes pie leņķiem



(piem. $\alpha -$, $\beta +$ u.t.t.) rāda, uz kuru pusi leņķis pieņemts par pozitīvu resp. negatīvu. T - vertikāls dziļums sienas daļai vai visai sienai, kam meklē zemes spiedienu.

E_a - aktīvais zemes spiediens (grāmatā atrodas tabeles arī pasīvam zemes spiedienam - E_p)

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma' T^2 \cdot \lambda_a, \text{ resp. } E_a = \frac{1}{2} \gamma' \cdot T^2 \cdot \lambda_a \quad (\gamma' - \text{reducētais zemes tilpuma svars})$$

λ_a - koeficients aktīvam zemes spiedienam, atkarīgs no leņķiem α, β, δ un φ . To atrod no tabelēm (no 296.-328.lpp.) Tabeles sastādītas, variējot ar dažādām $\alpha(\pm), \beta(\pm), \delta(\pm)$ un $\varphi(\pm)$ vērtībām. Tabeles robežās trūkstošo vērtību atrašanai atļauts izdarīt interpolāciju. Tabelēs atrodas arī $\cotg \delta$ vērtības, t.i. var aprēķināt nobrukuma prizmas leņķi δ .

Apmēram līdzīgi iekārtotas tabeles citās grāmatās.

Daži praktiskie skaitļi, kas lietojami aktīvo zemes spiedienu nosakot:

E_γ - no zemes pašsvara, E_p - no slodzes virs zemes virsmas

$$1) \text{ sausai melnzemei } \varphi = 37^\circ (40^\circ), \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \frac{1}{4}; \quad E_\gamma = \frac{1}{8} \gamma \cdot h^2; \quad E_p = \frac{1}{4} \cdot p \cdot h$$

$$2) \text{ sausai smiltij } \varphi \cong 30^\circ (33^\circ), \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \frac{1}{3}; \quad E_\gamma = \frac{1}{6} \gamma \cdot h^2; \quad E_p = \frac{1}{3} p \cdot h$$

Smiltij φ var būt arī 35° , bet pie lielāka φ , E ir mazāks, tāpēc vajaga uzmanīties φ izvēlot vai noteicot.

3) mālam vai mālainai zemei, piesātinātai ar ūdeni, plūstošai smiltij

$$\varphi \cong 20^\circ, \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \cong \frac{1}{2}; \quad E_\gamma = \frac{1}{4} \gamma \cdot h^2, \quad E_p = \frac{1}{2} p \cdot h$$

$\varphi = 20^\circ$ ir zemākā robeža, kur vēl pamato būves. (Skat. arī Hütte III 26. izd. 83. lpp.)

Pasīvā zemes spiediena lieluma noteikšana

Līdz šim apskatīti aktīvā zemes spiediena gadījumi, kad zeme spieda uz sienu, cenšoties to apgāzt. Bet dažreiz ir otrādi: siena izdara spiedienu uz zemi, izsaucot reakciju, kuru sauc par pasīvo zemes spiedienu jeb zemes pretspiedienu. To var novērot, kad uz sienu no ārpuses izdara horizontālo spiedienu. Tad siena

spiež kādu zemes prizmu uz augšu; šī zemes prizma ir daudz lielāka kā pie aktīvā zemes spiediena, jo prizma, ko spiež uz augšu, velk līdzī arī pārējo zemi. Arī pasīvais zemes spiediens novirzas par δ no sienas normas virziena, bet uz citu pusi, jo pie zemes prizmas pārvietošanās uz augšu, berze darbojas pretējā virzienā; dabū „ δ ”, (relatīvā kustībā zemes ķīlis kustas uz augšu un siena itkā uz leju - skat. 13. lpp.). Tāpat zemes reakcija R novirzas no slidēšanas plaknes AC normas par φ , tikai uz pretējo pusi. Tāpēc slidēšanas plakne AC (pie akt. zemes sp.

AC nosauca par nobrukuma virsmu) cita kā pie aktīvā zemes spiediena, un pasīvais zemes spiediens ir lielāks par aktīvo. Pie pasīvā zemes spiediena lieluma noteikšanas var pielietot Rebhann'a sakarības un Poncelet konstrukciju, ņemot tikai „ φ ” un „ δ ”. Pie Rankine sakarībām arī jāievēro, ka leņķis φ ar (-) zīmi, tāpēc

$$E_{pas} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$$

Rankine sakarība.

šeit $E_{akt.}$ bija (-) zīme.

Aprēķinot pēc šīs Rankine sakarības pasīvo zemes spiedienu augstāk aprakstītām

gruntīm:

$$\text{Pie } \varphi = 37^\circ, \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) = 4; \quad E_{pas} = 2 \gamma h^2 = 16 E_{akt} \text{ (resp. } 16 E_\gamma \text{)}$$

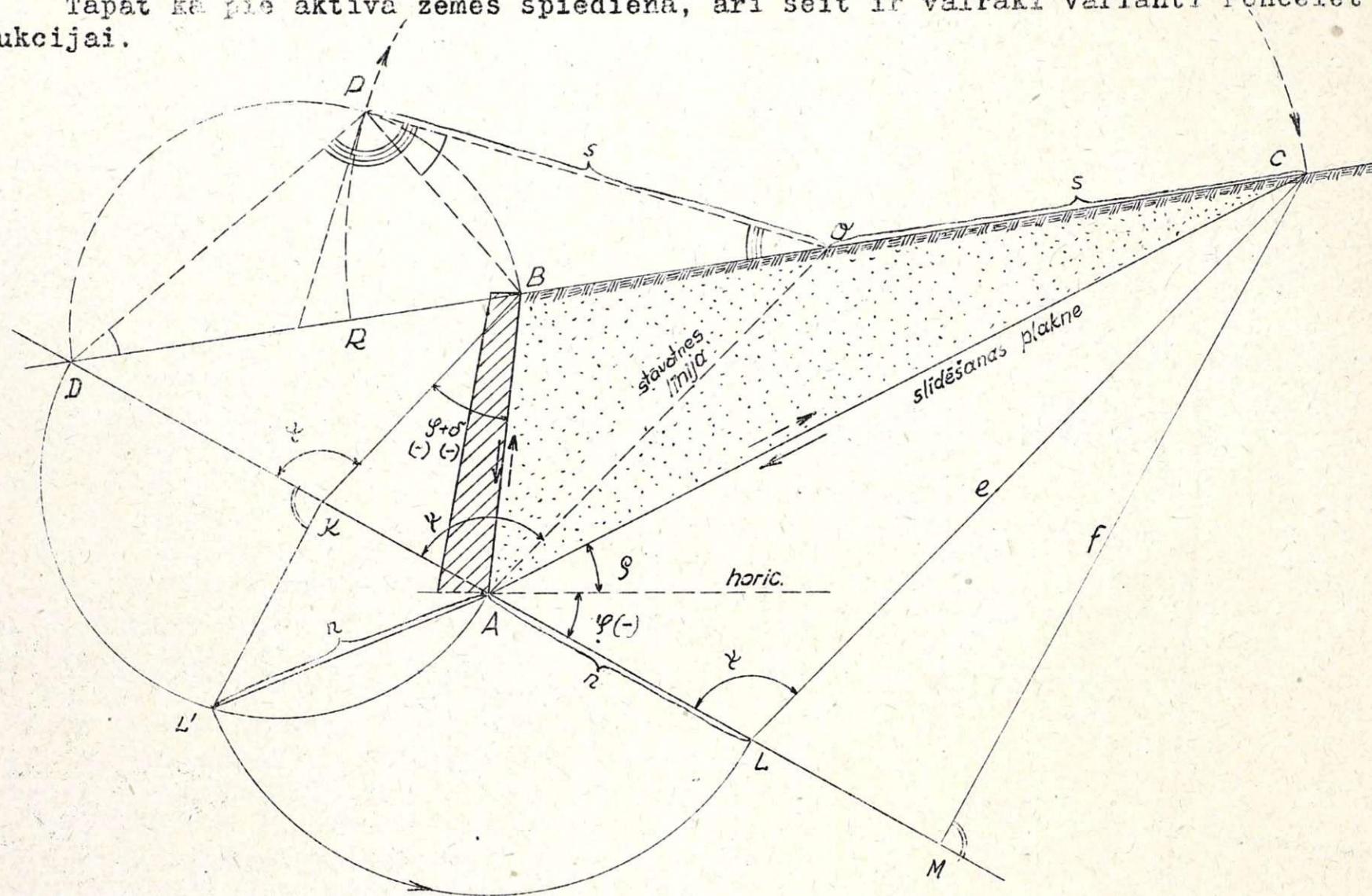
$$\text{" } \varphi = 30^\circ, \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) = 3; \quad E_{pas} = 1,5 \gamma h^2 = 9 E_{akt.}$$

Pie $\varphi = 20^\circ$, $\operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) = 2$; $E_{\text{pas}} = 1,0 \gamma h^2 = 4 E_{\text{akt}}$.

Tā tad šeit $E_{\text{pas}} = 16 \div 4 E_{\text{akt}}$.

PONCELET KONSTRUKCIJA PASĪVAM ZEMES SPIEDIENAM.

Tāpat kā pie aktīvā zemes spiediena, arī šeit ir vairāki varianti Poncelet konstrukcijai.



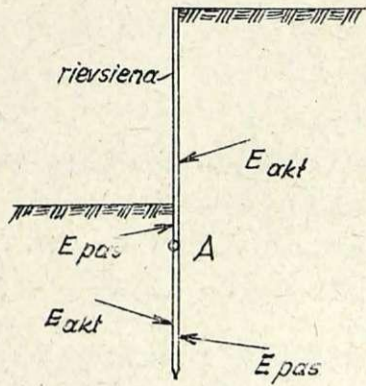
Slidēšanas plakni AC var atrast pilnīgi tāpat kā pie aktīvā zemes spiediena (skat. 18. lpp. Poncelet konstrukciju). Tikai šeit leņķis φ jāliek uz otru pusi, jo tas dabū negatīvo nozīmi. Tāpat stāvotnes līnija zem leņķa ψ , resp. $\varphi + \delta$, jāliek uz otru pusi (tāpēc punkts D atrodas otrā pusē - BC turpinājumā). Šeit jāievēro, ka leņķis φ ir vienmēr ar (-), bet δ var būt (+), jo atsevišķos gadījumos δ var iegūt arī (+) nozīmi (relatīvā kustībā sienā itkā kustētos uz augšu, bultiņas pie sienas AB pretējas tām, kas parādītas zīmējumā. Tas ir tāpat kā pie aktīvā zemes spiediena, δ var iegūt (-) zīmi, kā - paskaidrots 13. lpp. zīm. d). Tālākā konstrukcija saprotama no zīmējuma (nepārtrauktas līnijas). Tā atrod e un f un tad pasīvā zemes spiediena lielumu var atrast pēc Rebhann'a sakarības:

$$E_{\text{pas}} = \frac{1}{2} \gamma' \cdot f \cdot e$$

Slidēšanas plakni, resp. punktu C var atrast arī pēc sekojoša paņēmiena (zīmējumā raustītās līnijās): velk zem leņķa $\varphi(-)$ līniju no punkta A, līdz krustojšanai ar zemes virsmas BC turpinājumu punktā D. (Šī darbība bija vajadzīga arī augstāk aprakstītam paņēmienam, tāpēc nepārtraukta līnija). Tad velk stāvotnes līniju AO zem leņķa ψ pret AD. Apraksta pusriņķi starp BD. No punkta O velk šim pusriņķim pieskari, kas dod punktu P. Tad atliek OP uz zemes virsmas līnijas; dabū punktu C, t.i. $OP = OC = s$. Līnija CA ir meklētā slidēšanas plakne. Nolaižot no punkta C stateni pret DA turpinājumu, dabū punktu M un $CM = f$. Velkot no punkta C taisni CL paraleli stāvotnes līnijai, dabū $CL = e$. Tagad $E_{\text{pass}} = \frac{1}{2} \gamma' \cdot f \cdot e$. (Šādu Poncelet konstrukciju var pielietot arī pie aktīvā zemes spiediena).

Jāievēro, ka E_{pass} spēki sāk parādīties tikai tad, ja siena sāk kustēties (līdz-

svars sāk pazust), piem. griezties ap punktu A, turpretim E_{akt} darbojas arī tad, kad sie-

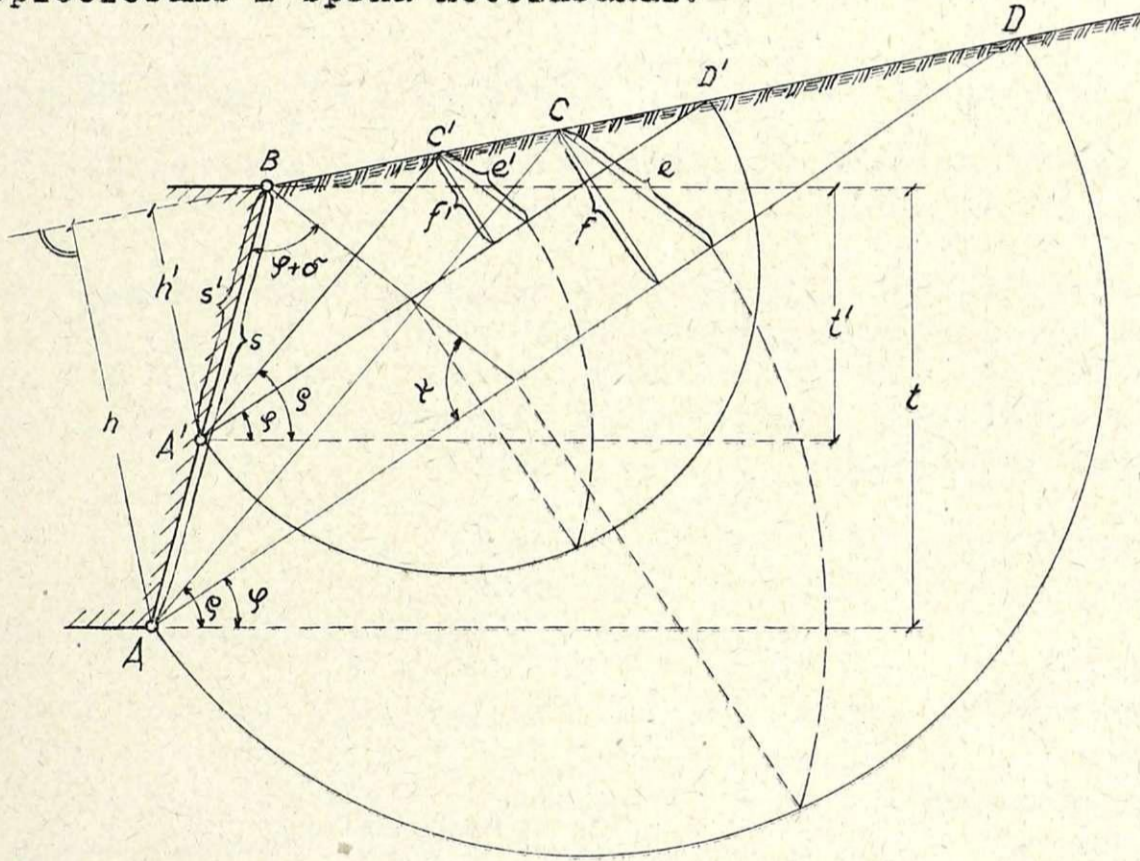


na vēl nekustas. Pasīvais zemes spiediens nāk visvairāk priekšā pie rievsienu aprēķiniem, noteicot rievsienu iedzišanas dziļumu (skat. prof. Ziemeļa "Pamatu" lekcijās, Krey, Erddruck, Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes, Möller'a grāmatā u.c.). Šeit jāpanāk, lai $E_{akt} < E_{pas}$, tad pastāvēs līdzsvars (rievsiena stabila).

Zemes spiediena pielikšanas punkta atrašana

Kā jau aprakstīts 14. lpp., zemes spiediena aprēķināšana ir 3 reiz statistiski nenoteikts uzdevums. Lai statistiskās nenoteiktības samazinātu, pēc Coulomb'a teorijas aprēķinu attiecina uz to mirkli, kad no maksimālā zemes spiediena siena sāk kustēties uz priekšu. No šī pieņēmuma dabū E un R spēku virzienus (skat. 14. lpp.). Tā uzdevums kļūst 1 reiz statistiski nenoteikts: paliek nezināmi E un R spēku lielumi un pielikšanas punkti, kopā 4 nezināmi, kuriem var stādīt pretim tikai 3 līdzsvara noteikumus. Lai atrisinātu tagad šo 1 reiz statistiski nenoteikto uzdevumu, darbību sadala 2 daļās:

- 1) atrod atsevišķi max E (ne patieso E) un R spēku lielumus kā aprakstīts iepriekš,
- 2) atrod max E pielikšanas punktu no specifiskā zemes spiediena diagramas, kā aprakstīts turpmāk. R spēka virziens, lielums un pielikšanas punkts interesē tikai tik daudz, cik nepieciešams E spēka noteikšanai.



Turpmāk jānoskaidro, kā mainās zemes spiediens atkarībā no dziļuma. Pēc 20-22 lpp.:

$$\gamma' = \gamma + \frac{2p}{h}; E_{max} = E_{\gamma} + E_p$$

$$E_{\gamma} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

$$E_p = p \cdot h \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

} pēc Rankine

Pēc šīm Rankine sakarībām redzams, ka: 1) zemes spiediens no zemes pašsvara pieaug proporcionāli dziļumam kvadrātā, 2) spiediens no konst. slodzes p uz zemes virsmas pieaug proporcionāli dziļumam pirmā pakāpē. To pašu var atrast arī no Rebhann'a sakarībām:

$$E_{\gamma} = \frac{1}{2} \gamma \cdot f \cdot e \text{ un } E_p = \frac{p}{h} \cdot f \cdot e$$

Visai sienai AB atbilst lielumi: h, s, t, e, f, E_{γ} un E_p ; sienas daļai A'B atbilst lielumi: h', s', t', e', f', E'_{γ} un E'_p

$$E'_{\gamma} = \frac{1}{2} \gamma \cdot f' \cdot e' \text{ un } E'_p = \frac{p}{h} \cdot f' \cdot e'$$

No līdzīgiem trijstūriem ABD un A'BD'

$$\frac{h}{h'} = \frac{s}{s'} = \frac{t}{t'} = \frac{e}{e'} = \frac{f}{f'} \dots (\alpha)$$

$$\frac{E'_{\gamma}}{E_{\gamma}} = \frac{\frac{1}{2} \gamma \cdot f' \cdot e'}{\frac{1}{2} \gamma \cdot f \cdot e} = \frac{f'}{f} \cdot \frac{e'}{e} = \frac{h'^2}{h^2} = \frac{s'^2}{s^2} = \frac{t'^2}{t^2}$$

pēc (α) sakarības

$$\frac{E'_p}{E_p} = \frac{\frac{p}{h'} \cdot f' \cdot e'}{\frac{p}{h} \cdot f \cdot e} = \frac{h \cdot f' \cdot e'}{h' \cdot f \cdot e} = \frac{h \cdot h'^2}{h' \cdot h^2} = \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s} = \frac{t'}{t}$$

pēc (α) sakarības

$$\frac{E'_\gamma}{E_\gamma} = \frac{h'^2}{h^2}$$

(β) t.i. aktīvais zemes spiediens pieaug proporcionāli zemes dziļumam kvadrātā (tāpat kā pēc Rankine sakarības).

$$\frac{E'_p}{E_p} = \frac{h'}{h}$$

(β') t.i. spiediens no slodzes uz zemes virsmas pieaug proporcionāli zemes dziļumam pirmā pakāpē.

Lai zinātu tiešus E lielumus atkarībā no dziļumiem, var zīmēt zemes spiediena diagramu. Tam nolūkam no pieņemtās pamatlīnijas atliek dažādiem dziļumiem atbilstošos E_γ un E_p (zīm. zemāk). Tā kā E_γ ir proporcionāls dziļumu kvadrātiem, tad E_γ spiediena diagrama ir parabole. E_p ir proporcionāls dziļumiem pirmā pakāpē, dabū taisni. $E_\gamma + E_p = E$ - kopspiediens uz dota dziļuma sienu. E pielikšanas punktu nevar atrast no šīs diagramas, to atrod no specifiskā spiediena diagramas.

SPECIFISKĀ ZEMES SPIEDIENA DIAGRAMA.

$\frac{dE}{dh} = k$ - specifiskais spiediens (attiecināts uz augstuma vienību, integrējot -atkal dabūtu spiedienu uz visu augstumu)

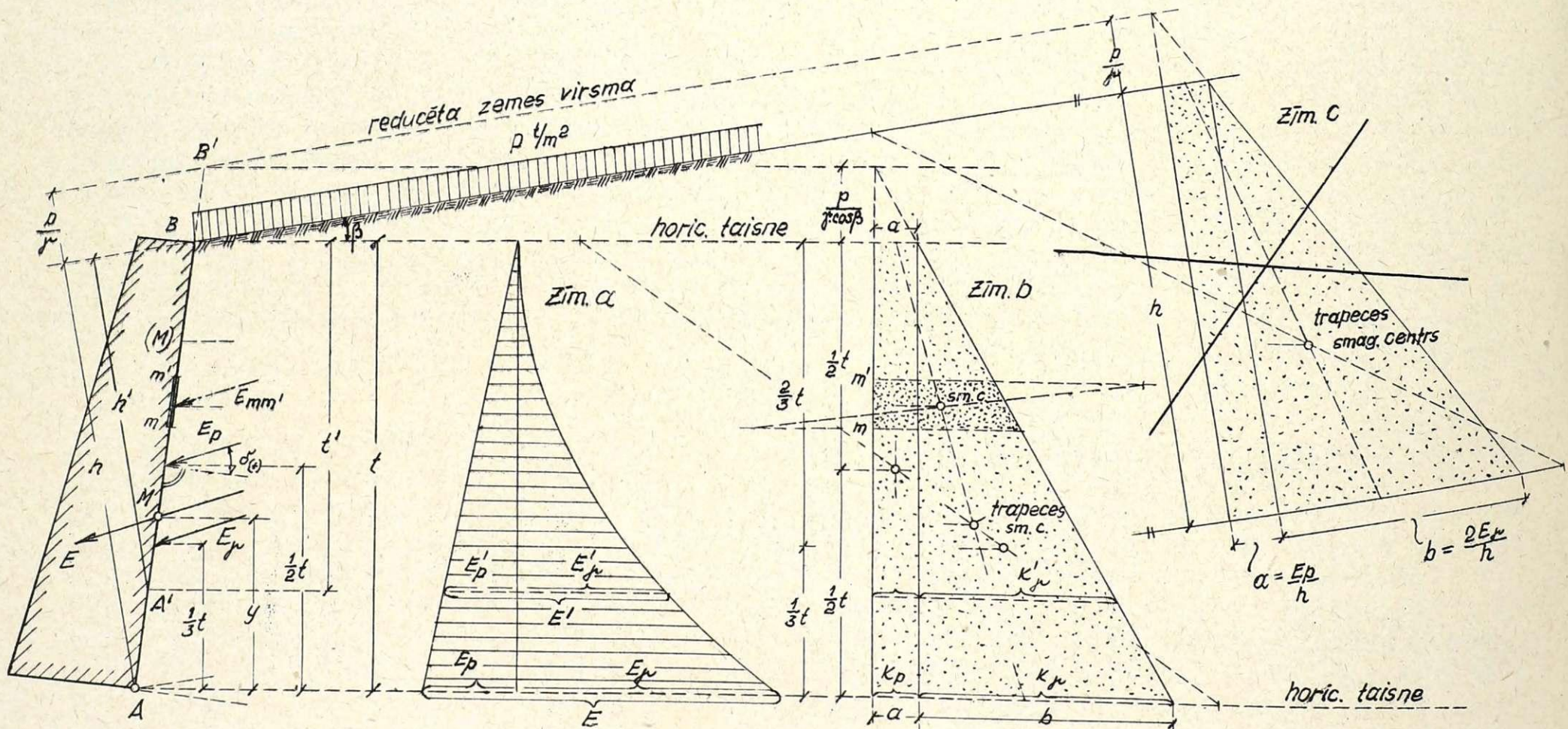
No (β) un (β') sakarībām: $E'_\gamma = E_\gamma \cdot \frac{h'^2}{h^2}$ un $E'_p = E_p \cdot \frac{h'}{h}$. Šeit E'_γ , E'_p un h' mainīgi, bet E_γ , E_p un h nemainīgi lielumi. Tad h' dziļumā specifiskie spiedieni k izteiksies:

$$k'_\gamma = \frac{dE'_\gamma}{dh'} = \frac{2 E_\gamma}{h^2} \cdot h'$$

t.i. specifiskais spiediens no zemes pašsvara pieaug proporcionāli dziļumam pirmā pakāpē.

$$k'_p = \frac{dE'_p}{dh'} = \frac{E_p}{h} = k_p$$

t.i. specifiskais spiediens no slodzes ir nemainīgs, nav atkarīgs no dziļuma.



Zinot E_γ un E_p lielumus, var uzzīmēt specifiskā spiediena diagramu, kura sastāv no trijstūra, kas izteic zemes spiedienu (k_γ) un no taisnstūra, kas izteic slodzes iedarbību (k_p). No šī specifiskā spiediena diagramas dabū E pielikšanas punktu. Diagramu var zīmēt dažādi: var tā, kā parādīts zīm. b, izejot no horic. taisnes un vert. dziļumiem t. Šādi rīkojas parasti. Var arī, kā parādīts zīm. c (26. lpp.), tikai šeit var vieglāk kļūdi - ties, pārnesot punktus no diagramas uz sienu AB (neuzmanīgi strādājot var piem. trapeces smag. centru pārnest horicontāli uz sienu, gūstot punktu (M), kas daudz augstāk par isto M). Tāpēc vajaga pieturēties pie zīm. b veida (26. lpp.) Tikai šeit k_γ un k_p noteicot, vajaga iziet no dziļumiem t, bet ne no h. Ievedot apzīmējā t, sakarības (β) un (β') būs:

$$\frac{E'_\gamma}{E_\gamma} = \frac{t'^2}{t^2} \quad \text{un} \quad \frac{E'_p}{E_p} = \frac{t'}{t}; \quad \text{ņemot} \quad \frac{dE'_\gamma}{dt} \quad \text{un} \quad \frac{dE'_p}{dt}, \quad \text{dabū:} \quad k'_\gamma = \frac{2E_\gamma}{t^2} \cdot t' \quad \text{un}$$

$$k'_p = \frac{E_p}{t} = k_p$$

Kā atrast specifiskā spiediena diagramas taisnstūra un trijstūra pamatus a un b?

$$a = k_p = \frac{E_p}{t} = \left(\text{ieliekot } E_p = \frac{p}{h} \cdot f \cdot e \right) = \frac{p \cdot f \cdot e}{h \cdot t} \quad t/m^2$$

$$\text{Pie } t' = t \quad b = k_\gamma = \frac{2E_\gamma}{t^2} \cdot t = \frac{2E_\gamma}{t} = \frac{2 \cdot \frac{1}{2} \gamma \cdot f \cdot e}{t} = \frac{\gamma \cdot f \cdot e}{t} \quad t/m^2$$

Lietojot Rankine sakarības (22. lpp.), jāievēro, ka pie horicontālās zemes virsmas $t = h$.

$$\text{Tad } a = k_p = \frac{E_p}{h} = p \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad t/m^2$$

$$b = k_\gamma = \frac{2E_\gamma}{h} = \gamma \cdot h \cdot \text{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad t/m^2$$

Ja dota specifiskā spiediena diagrama, tad pēc tās var arī atrast E_p un E_γ lielumus

$$\underline{E_p} = a \cdot t \cdot 1,0 \text{ m (tonnās)} = \underline{k_p} \cdot t \text{ (tonnās)}$$

sienas strēmeles platums (dimenzijās jāievēro)

t.i. spiediens no slodzes uz zemes virsmas ir vienlīdzīgs ar specifiskā spiediena diagramas taisnstūra (ar pamatu $a = k_p$) laukumu.

$$\underline{E_\gamma} = \frac{b \cdot t}{2} \cdot 1,0 \text{ (tonnās)} = \frac{1}{2} t \cdot k_\gamma \text{ (tonnās)}$$

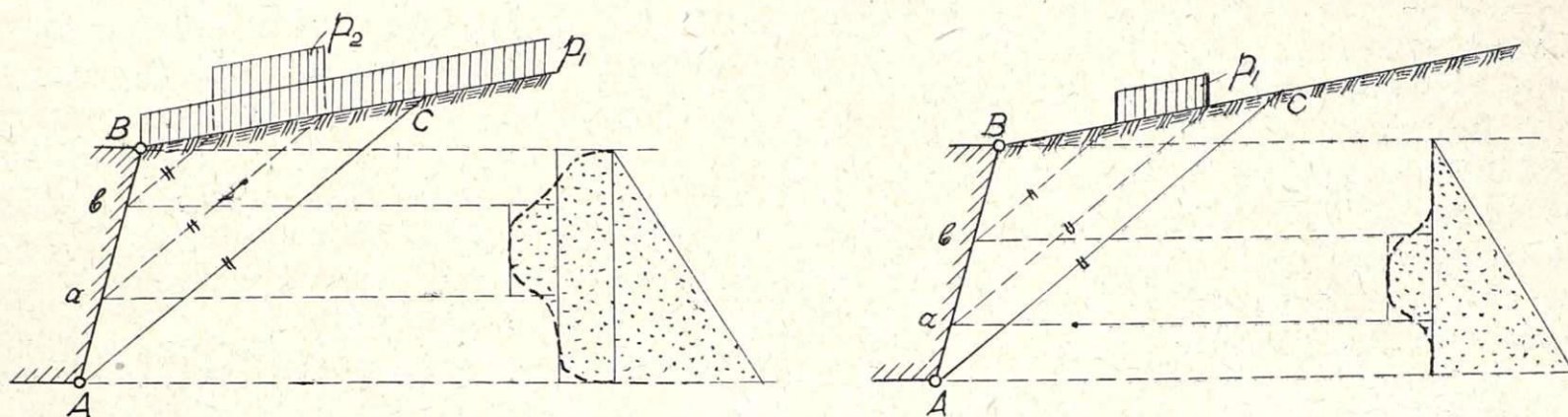
t.i. spiediens no zemes pašsvara ir vienlīdzīgs ar specifiskā spiediena diagramas trijstūra (ar pamatu $b = k_\gamma$) laukumu (dziļumu t vietā var būt arī h, skatoties, kā zīmētas diagramas). Pilns spiediens uz atbalsta sienu tad ir abu laukumu suma, resp. specifiskā spiediena diagramas trapeces laukums. Ja spiedienu aprēķina, izejot no reducētās zemes virsmas (kā paskaidrots 18. lpp.), tad specifiskā spiediena diagrama arī ir trapece, kas dabūta no trijstūra, nogriežot tam galotni, kā redzams zīm. b un zīm. c 26. lpp. (galotne raustītās līnijās).

Tā kā visa specifiskā spiediena diagrama attēlo pilno spiedienu uz atbalsta sienu AB, tad daļa no šīs diagramas laukuma attēlo spiedienu uz atbilstošu sienas daļu. Tā zīm. b (26. lpp.) vairāk punktētā laukuma daļa atbilst spiedienam $E_{m-m'}$ uz sienas daļu m-m'. Tā var specifisko spiediena diagramu lietot spiedienu noteikšanai atsevišķām sienas sēkciņām.

P i e m ē r s, kas rāda, kad zemes spiediena lielumu un pielikšanas punktu izdevīgi noteikt no specifiskā spiediena diagramas (28. lpp.).

AC - nobrukuma virsma, kam pārejas taisnes paralēlas.

Patiesībā zemes spiediens nevar tik krasi mainīties, bet ir kādas maigākas pārejas, apm. kā rādīts ar punktēto līko līniju. Tas tāpēc, ka p_2 , resp. p_1 , iedarbe uz sienas daļu ab būs tieša, bet citur var darboties netieši.



ZEMES SPIEDIENU PIELIKŠANAS PUNKTI.

Zemes spiediena pielikšanas punktu atrod no specifiskā spiediena diagramas. Tā kā šīs diagramas koplaukums vai laukuma daļas attēlo pašu spiedienu uz atbilstošo sienu vai sienas daļu, tad šis spiediens iet caur koplaukuma vai laukuma daļas smaguma centru. Pārnesot šo smaguma centru uz sienu AB, dabū attiecīgā E pielikšanas punktu. Ja uz zemes virsmas nav slodzes, tad specifiskā spiediena diagrama ir tikai trijstūris (k_γ), kura smaguma centrs ir $\frac{1}{3} t$ (resp. $\frac{1}{3} h$) no apakšas. Uzkraujot uz zemes slodzi, specifiskā spiediena diagrama dabū pieaugumu taisnstūra veidā (k_p), pārvēršoties par trapeci ($k_\gamma + k_p$), kuras smaguma centrs ir augstāk par $\frac{1}{3} t$. Tā ar zemes virsmas slodzēšanu, smaguma centrs, resp. zemes spiediena pielikšanas punkts, paceļas, bet ne augstāk par $\frac{1}{2} t$. Ja k_p diagramas taisnstūris ir ļoti liels, salīdzinājumā ar k_γ diagramas trijstūri, tad visu specifiskā spiediena diagramu var uzskatīt par taisnstūri, kuram smaguma centrs atrodas vidū, resp. $\frac{1}{2} t$. Tāpēc zemes spiediena kopspēka E pielikšanas punkts atrodas starp $\frac{1}{3} t$ un $\frac{1}{2} t$ un nekad nevar būt augstāks par $\frac{1}{2} t$. Jo zemāks kopspēka E pielikšanas punkts, jo drošāks darinājums.

Zīmējumā 26.lpp. atrasti E_p , E_γ un arī E pielikšanas punkti no specifiskā spiediena diagramas (zīm. b). E_p pielikšanas punkts atrasts no diagramas taisnstūra (ar malām a un t), pārnesot tā smaguma centru horizontāli uz sienu AB. Tas atrodas $\frac{1}{2} t$ augstumā (taisnstūra smag. centrs). Tāpat atrasts E_γ pielikšanas punkts, kas atrodas $\frac{1}{3} t$ augstumā (trijstūra smag. centrs). E_p un E_γ kopspēka E pielikšanas punkts M atrasts no diagramas trapeces, pārnesot tās smaguma centru horizontāli uz sienu AB. E pielikšanas punktu var arī atrast grafiski vai analītiski tieši no spēkiem E_p un E_γ . Analītiski tas izteiksies:

$$y = \frac{E_\gamma \cdot \frac{1}{3} t + E_p \cdot \frac{1}{2} t}{E_\gamma + E_p}$$

Šī ir viena pielikšanas punkta koordināte (dziļuma virzienā). Otra koordināte ir noteikta ar to, ka spiediena spēkam jābūt pieliktam pie sienas virsmas. Spiediens iedarbojas šinī punktā zem berzes leņķa σ starp normali pret sienu un E virzienu.

Spiediens E_{mm} , uz kādu sienas daļu m-m' (zīm. 26.lpp.) ir vienlīdzīgs ar atbilstošo specifiskā spiediena diagramas laukuma daļu (zīm. b vairāk punktētā daļa) un tā pielikšanas punkts atrasts kā šīs diagramas daļas (trapece) smaguma centrs, pārnesot to uz sienas virsmu AB paraleli diagramas pamatlīnijai.

Vispārīgi jāsaprot, ka patiesībā arī pat pie vertikālās atbalsta sienas un horizontālās zemes virsmas zemes spiediens nepalielinājas proporcionāli, t.i. specifiskā spiediena diagrama nebūs no taisnēm, bet tās malas var būt līkas, līdz ar to mainītos arī pielikšanas punktu vietas. Šeit liela nozīme berzes leņķa σ virzienam. Cik daudz pielikšanas punkts var pārvietoties, piem. no $\frac{1}{3} t$ uz vienu vai otru pusi (\pm), to nevar vēl ar tagadējām zināšanām noteikt. Krey'a grāmatā (1932.g. izd. 79. lpp.) ir aprakstīts ietei-

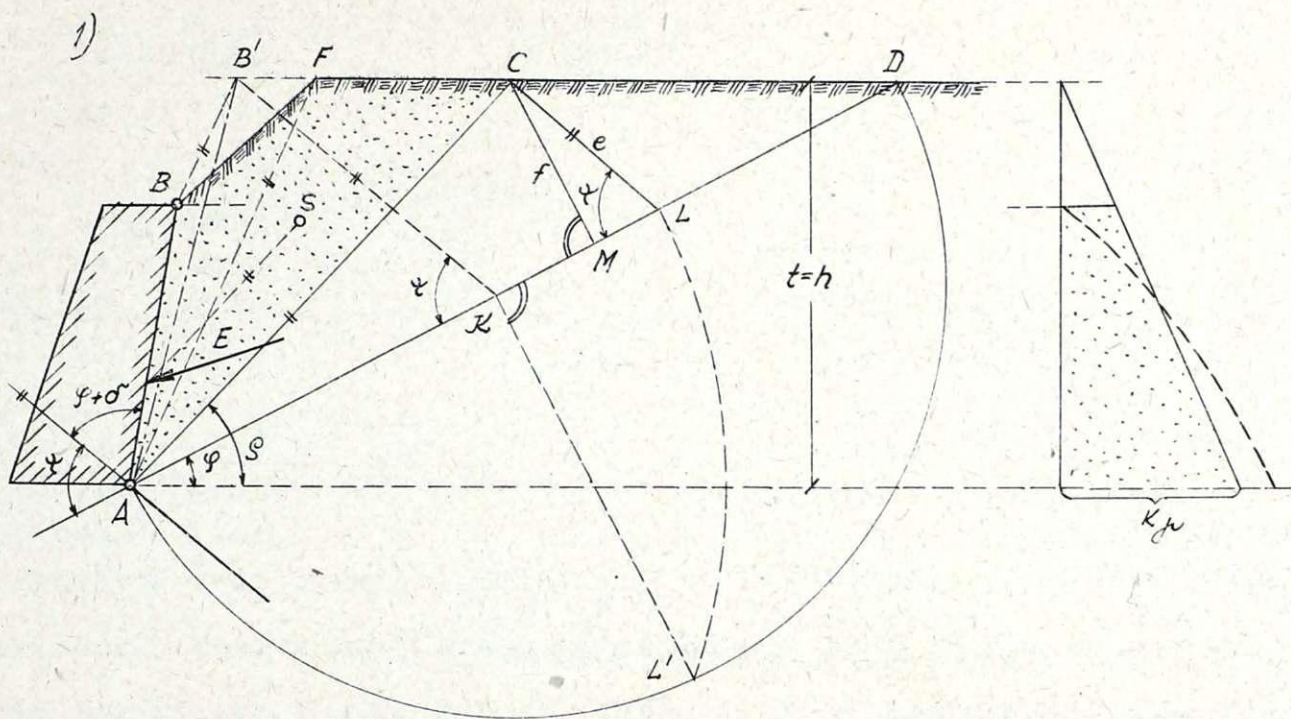
kums, kā šo pārvietošanu atrast praktiski, nepamatojot zinātniski. Pie parastā lieluma atbalsta sienām un praktiskām vajadzībām tomēr pilnīgi pietiek noteikt zemes spiediena virzienu, lielumu un pielikšanas punktu pēc aprakstītiem paņēmieniem. Speciāli uzdevumi prasa īpašas studijas, kas neietilpst šī kursa rāmjos.

Atsevišķi gadījumi.

(Skat. arī nodaļu "Atsevišķi gadījumi" 19. lpp.)

1) Zemes virsma lauza līnija B - F - D.

Te nobrukuma prizma neveido-
sies kā trijstūris, bet būs
kāds 4-stūris ABFC. Tāpēc,
lai varētu pielietot Poncel-
let konstrukciju un Rebhann'a
sakarības, šis 4-stūris jā-
pārveido par trijstūri. Jā-
atrod kāds cits iedomāts
punkts B', kas atrastos uz
taisnes CD turpinājuma, pie
tam jāpanāk, lai Δ -ra AB'C
laukums būtu tikpat liels kā
četrstūra ABFC laukums. Tas
būs izpildīts, ja $\Delta ABF =$
 $= \Delta AB'F$. Lai to panāktu,
velk no punkta B taisni BB'



paraleli taisnei AF. Tā kā trijstūriem ABF un AB'F ir kopējs pamats AF un arī augstumi ir vienādi, tad $\Delta ABF = \Delta AB'F$ un arī $\Delta AB'C = \square ABFC$. Tālāk atrod iedomātai sienai AB' pēc Poncellet konstrukcijas nobrukuma virsmu AC un arī e un f lielumus. Pēc tam zīmē specifiskā spiediena diagramu, aprēķinot $k_{\gamma} = \frac{2 E_{\gamma}}{h} = \frac{\gamma \cdot f \cdot e}{h}$ (zeme ir horizontāla, tāpēc $t=h$).

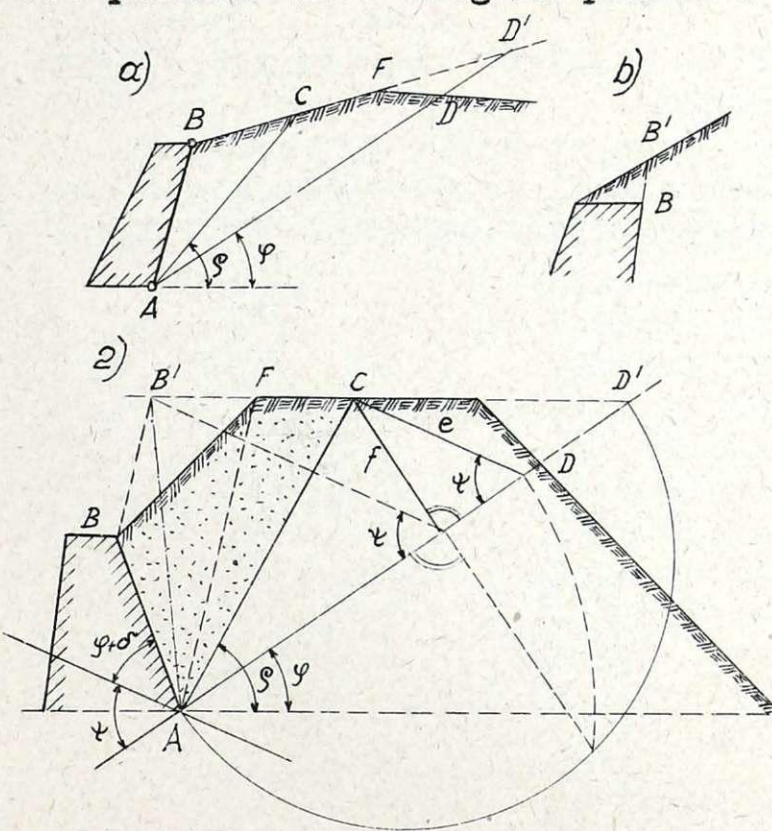
Šī diagrama būs iedomātai sienai AB', tāpēc istai sienai AB' apmierinājas ar to trijstūra daļu, kas atbilst AB. Tagad specifiskā spiediena diagrama ir trapece, kas neatbilst īstenībai, jo spiediens punktā B līdzinās nullei. Šeit var izlīdzēt, nošķeļot šai trapecei augšējo daļu un kompensējot to ar pieaugumu apakšā (raustītā līnija). No šīs diagramas dabū E pielikšanas punktu. E pielikšanas punktu var atrast pietiekoši precīzi, pārnesot prizmas ABFC smaguma punktu S paraleli nobrukuma virsmai AC uz sienu AB.

Gadījumā, ja lūzuma punkts F atrastos aiz C, t.i. starp C un D (zīm. a), tad šim lūzumam nav nekādas ietekmes uz E lielumu (tikai Poncellet konstrukcijai nepieciešamais punkts D jāpārnes uz BC turpinājumu, un dabū D'. Poncellet konstrukcija nav iespējama, ja B, C un D nav uz vienas taisnes). Ja uz atbalsta sienas atrastos zeme, kā redzams zīm. b), tad zemes spiedienu aprēķina it kā sienai AB', bet tās zemes svaru, kas atrodas virs sienas, pieskaita sienas pašsvaram.

2) Uzbērums, kas no vienas puses ierobežots ar atbalstu sienu. Šeit B, C un D atrodas katrs uz citas plaknes. Lai varētu pielietot Poncellet konstrukciju un Rebhann'a sakarības, vajaga punktus B un D gūt uz vienas taisnes ar C. Punktu B' atrod kā aprakstīts 1) gadījumā; punkts D' atrodas B'C un AD krustojumā. Tālāka konstrukcija un aprēķini veicami parastā kārtībā.

3) Sienas virsma AB veidota kā lauza līnija (zīm. 30. lpp.)

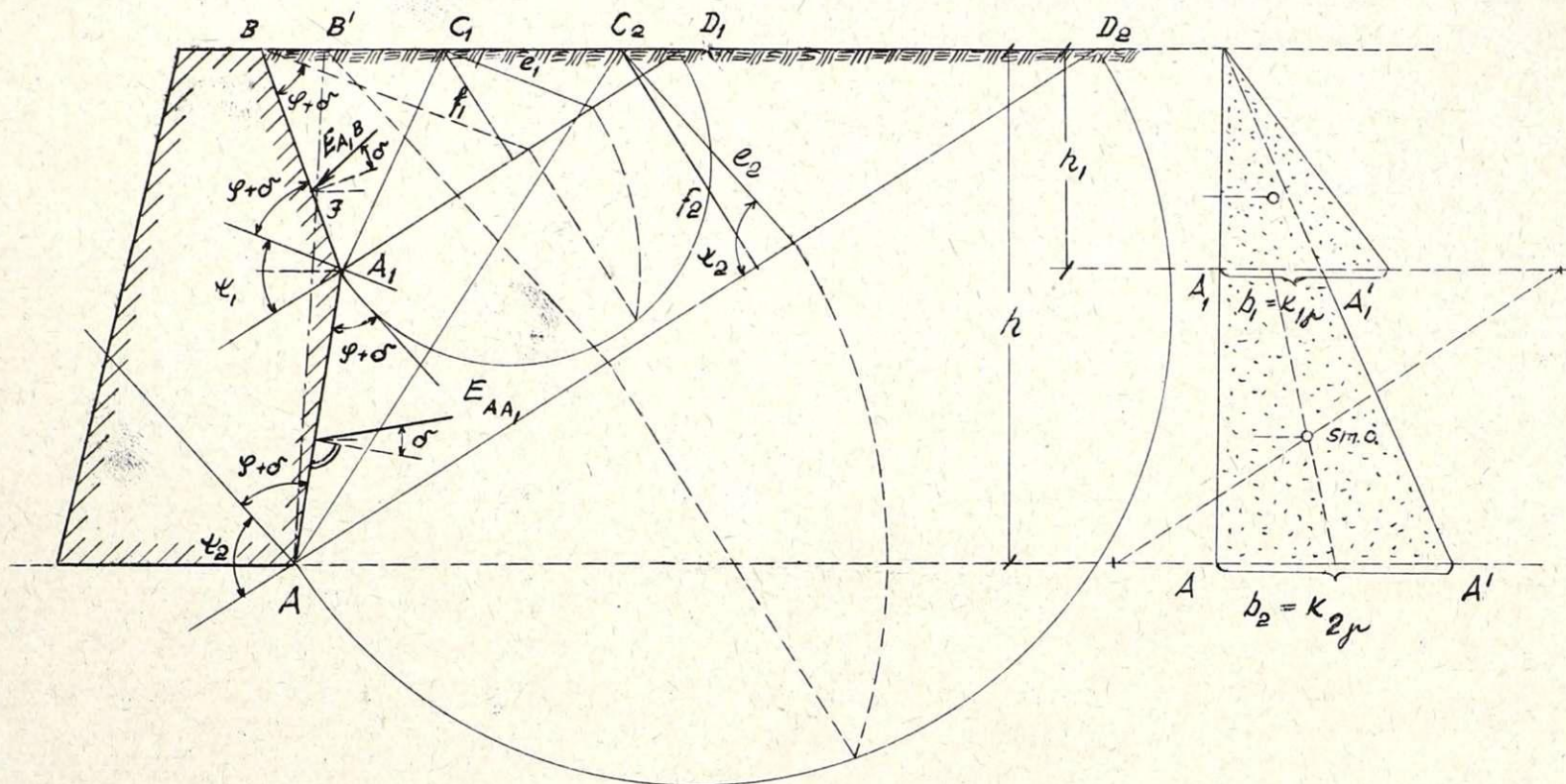
Spiedienu uz sienas daļu A₁B aprēķina kā parasti, atro-



Dot f_1, e_1 un $E_{A_1B} = \frac{1}{2} \gamma \cdot f_1 \cdot e_1$. Tāpat atrod šīs daļas specifiskā spiediena diagramas trijstūri ar pamatu $b_1 = k_1 \gamma =$

$$= \frac{2 E_{A_1B}}{h_1} = \frac{\gamma \cdot f_1 \cdot e_1}{h_1} \text{ un}$$

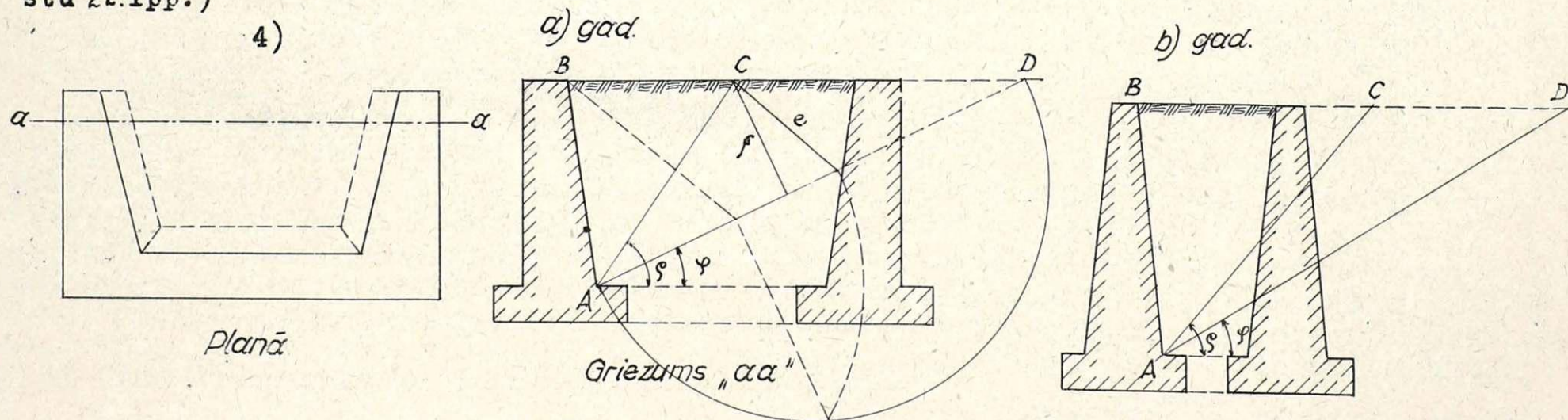
augstumu h_1 . Tālāk laužo sienu $A-A_1-B$ pārveido par plakānu, izvēlot taisni AB' tā, lai $\triangle AJA_1 = \triangle JBB'$ (pēc 29. lpp.-1. aprakstītā pagēmieņa). Atrod zemes



mes spiedienu fiktīvai sienai AB' , dabū f_2, e_2 un $E_2 = \frac{1}{2} \gamma \cdot f_2 \cdot e_2$. Specifiskā spiediena diagramas pamats ir $b_2 = k_2 \gamma = \frac{2 E_2 \gamma}{h} = \frac{\gamma \cdot f_2 \cdot e_2}{h}$. Saliekot abas specifiskā spiediena diagramas, dabū kopējo diagramu laužtai sienai AA_1B . Sienas lūzuma vietā spiediens mainas ar lēcieni. Zemes spiedienu sienas daļai AA_1 , t.i. E_{AA_1} dabū no specifiskā spiediena diagramas kā trapeces $AA_1A'_1A'$ laukumu. E_{AA_1} pielikšanas punktu dabū, pārnesot šīs trapeces smaguma centru uz sienas daļu AA_1 (ne uz fiktīvo sienu AB'). E_{AA_1} virziens novirzās no normales pret sienu AA_1 par leņķi δ . E_{A_1B} pielikšanas punktu dabū, izejot no specif. sp. diagramas trijstūra smaguma centra; spēka E_{A_1B} virziens novirzās no normales pret sienu A_1B par leņķi δ . Kopējo zemes spiedienu E uz laužo sienu $A-A_1-B$ dabū sumējot grafiski atrastos spēkus E_{A_1B} un E_{AA_1} grafiski ar spēka plāna un virves poligona palīdzību (skat. par spēku sumēšanu plaknē prof. Vitola - Statika plaknē un prof. Rozenauera - Statika. Skat. arī nodaļā "Vienkāršā sija").

Ja sieniņas virsma AB ir veidota pēc līknes, tad to vispirms izveido pēc laužas līnijas un tad aprēķinu veic līdzīgi tikko aprakstītā gaitā.

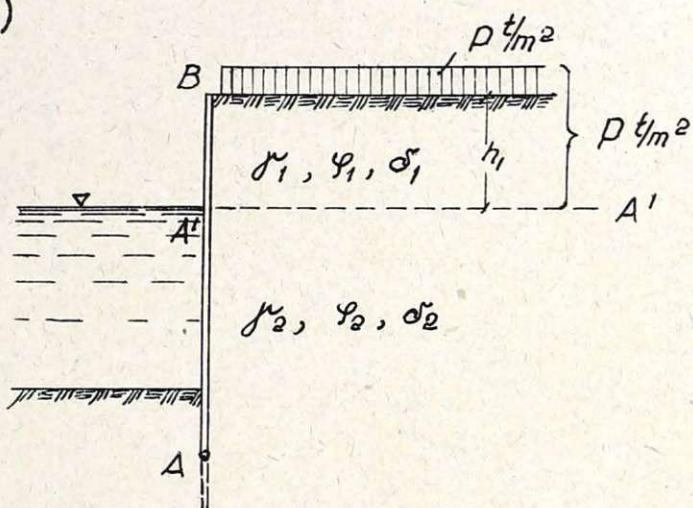
Praksē tomēr vislabāk tuvīniem aprēķiniem laužo sienu uzskatīt kā vertikālu un pielietot Rankine sakarības. Var arī ar Rankine sakarībām atrast horizontālo komponenti H , bet no zemes svāra vertikālu komponenti V , kurus tad vektorāli sasumē (skat. aprakstu 22.lpp.)



a) gad. Var gadīties, ka punkts D atrodas ārpus balstsienas. Šeit tomēr var pielietot Poncelet konstrukciju un Rebhann'a sakarības tāpat kā 29.lpp. pie 2), jo izveidojas nobrukuma prizma.

b) gad. Var gadīties, ka abi punkti C un D atrodas ārpusē - tad Poncelet konstrukciju un Rebhann'a sakarības nevar pielietot, jo nobrukuma prizma izveidojas ar īpatnēju veidu. Šādu uzdevumu atrisina ar Culmann'a E-līnijas palīdzību. Vispārīgi visos īpatnējākos gadījumos jāpielieto Culmann'a paņēmieni. Pie pārejām no tilta uz uzbērumu ir jāievēro arī berze gar spārnem; sevišķi tas vietā pie šauriem tiltiem. Tāpat tiltu krasta balstu spārnu sienu aprēķins griezumā "aa", ar pilnu zemes spiedienu nav vienmēr patiesiem dabas apstākļiem atbilstošs, un nepieciešams katrā tādā atsevišķā gadījumā ievērot tos īpatnējos apstākļus, kas var aprēķina rezultātu sagrozīt.

5)



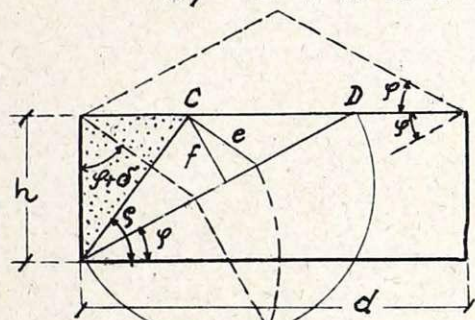
Ūdensbūvēs gadas, ka daļa no zemes slāņa ir zem ūdens (gruntsūdens). Tas iespaido raksturīgos lielumus: γ , c un δ . Ja piemēram $\gamma_1 = 1,8 \text{ t/m}^3$, tad daļai zem gruntsūdeņa līmeņa pieņem $\gamma_2 = 1,2 \text{ t/m}^3$ un $\delta_2 = 0$ (parasti); arī c_2 ir mazāks par c_1 .

Sienas daļai A'B aprēķina zemes spiedienu kā parasti. Aprēķinot spiedienu sienas daļai AA', zemi un slodzi virs šīs daļas (virs ūdens līmeņa) uzskata kā lietderīgu slodzi $p = (p_1 + \gamma_1 \cdot h)$ t/m^2 uz iedomātās virsmas A'A'. Viss zemes spiediens uz sienu AB ir daļu A'B un AA' spiedienu kopspēks.

Beramo vielu spiedienu tvertnēs un silos

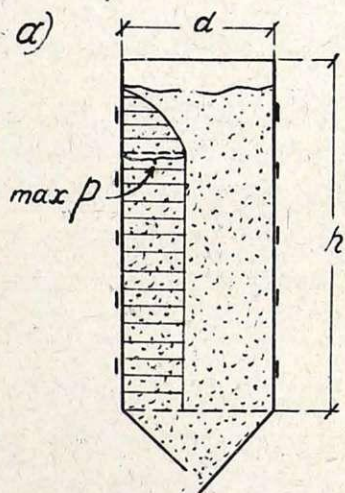
Literatūra: Handbuch für Eisenbetonbau (IV izdevumā 8. daļa: Silos, Landwirtschaftliche Bauten).
Foerster, Taschenbuch für Bauingenieure (V izdevumā 2. daļā no lpp. 104).
K. Beyer, Statik im Eisenbetonbau.

1) TVERTNES.



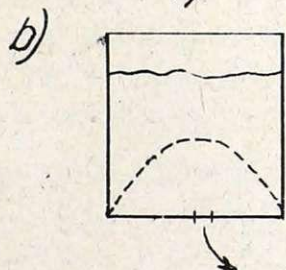
Tvertnēm, kuru platums d lielāks par augstumu h , pielieto spiediena atrašānai uz sānu sienām tos pašus paņēmienus kā pie zemes spiediena aprēķiniem. Arī šeit var būt dažādi veidotas virsmas BD, piem. uzbērumi vai ieliekumi ar nogāzes leņķi, kas var sasniegt vērtību φ (φ - beramās vielas dabīgās nogāzes leņķis, piem. labībai $\varphi = 25^\circ$).

2) SILOSI.



Silosiem augstums ir daudz lielāks par platumu. Spiedienus uz sienām var atrast pēc sakarībām, kas sastādītas uz novērojumu pamata. Piem. spiediena lielumu nosaka tā, ka iebūvē īpatnējus aparātus, kas mēro spiedienus uz silosa sienu. Ir atrasts, ka specifiskais spiediens pieaug līdz zinamai vietai (pieauguma līkums var būt izteikts ar parabolu), tālāk šis spiediens paliek konstants. Tāpēc beramās vielas spiediens uz silosa svērtēniskām sienām sākot no kāda $\max p$ pieaug turpmāk proporcionāli dziļumam pirmā pakāpē - ne kvadrātā, kā pie zemes spiediena atklātā vietā. Beramo vielu γ , c , δ un empiriskas sakarības $\max p$ un citu lielumu noteikšanai var atrast augšminētā literatūrā.

Zīm. b) ir siloss cementam, kura daļiņām ir liela kohezija. Tāpēc, izsūcot cementu no apakšas, tur var palikt tukšums; tad var būt tāds moments, kad cementa masa sabrūk, rada triecenu uz dibenu. Šādas varbūtības jāparedz aprēķinos, attiecīgi izvēloties drošības koeficientu, ko parasti pieņem uz piedzīvojumu pamata, vai ņem no literatūras (empiriski skaitļi).

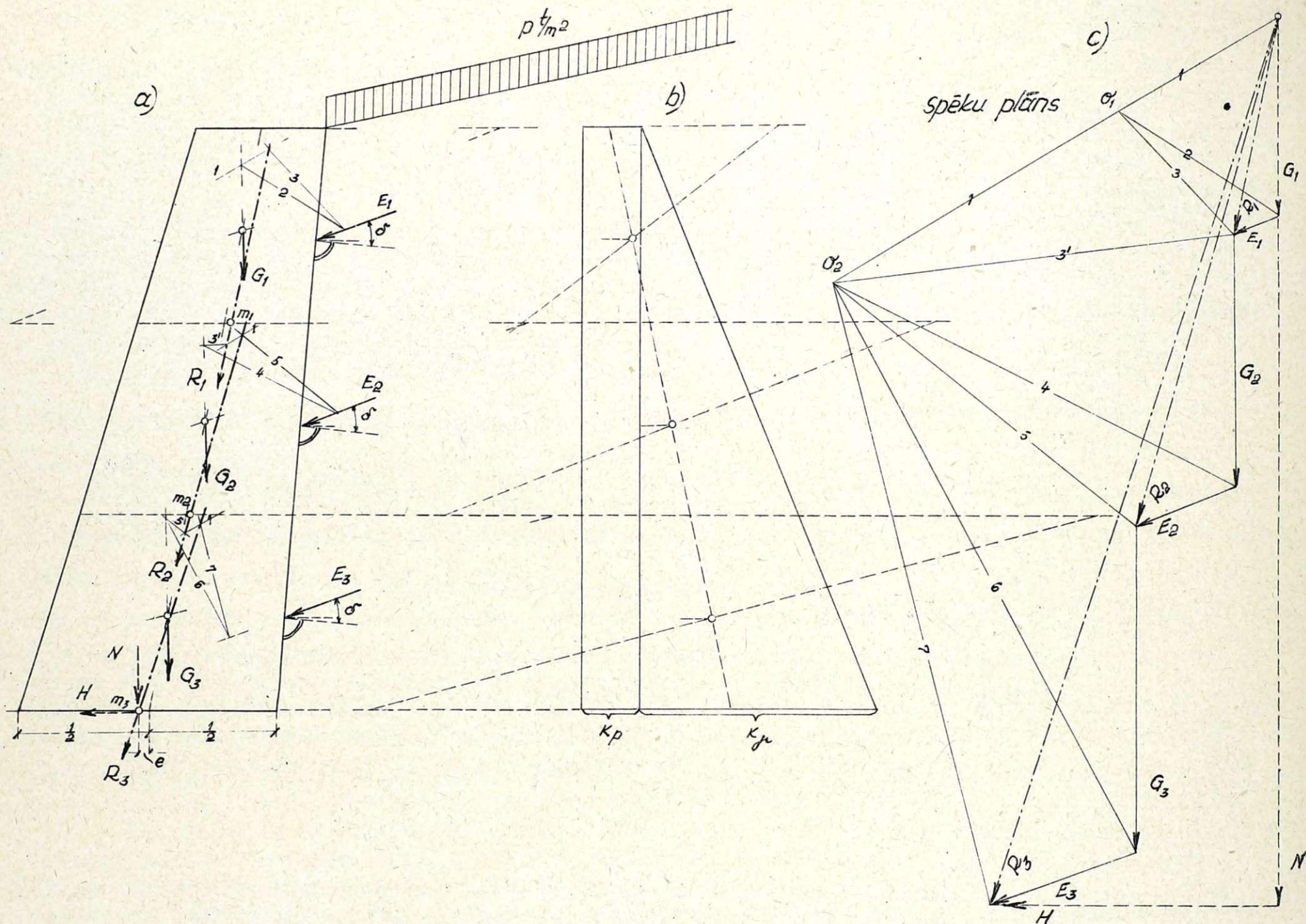


Atsevišķi gadījumi praksē

Pie atbalsta sienas aprēķina atrod un noskaidro:

- 1) spriegumus sienas atsevišķās šuvēs un pamatos,
- 2) stāvīgumu,
- 3) pretestību slidēšanai.

1. SPRIEGUMI SIENAS ATSEVIŠKĀS ŠUVĒS UN PAMATOS.



Dota atbalsta siena un zemes specifiskā spiediena diagrama. Ar iedomātām šuvēm (parasti līmeniskām - tanī pašā virzienā kā siena mūrēta vai betonēta; slīpas šuves veidotas pret slidēšanu) sadala sienu un spec. spiediena diagramu vairākās daļās (parasti vienādā augstumā). Atrod šīm daļām smaguma centrus (trapeces smag. c.), kur iedomājas sakopotu katras daļas pašsvaru: G_1 , G_2 un G_3 ; tāpat noteikti pielikšanas punkti zemes spiedieniem E_1 , E_2 un E_3 , kuri iedarbojas uz sienas daļām. E_1 , E_2 , E_3 lielumi atrodami no specifiskā spiediena diagramas, ņemot no diagramas atbilstošo laukuma daļu; spēku E_1 , E_2 , E_3 virzieni novirzas no sienas stāveņa par berzes leņķi δ . (Citos gadījumos E lielumi var būt atrasti arī ar kādu citu paņēmienu). Ar spēkiem G_1 un E_1 zīmē attiecīgā mērogā spēku plānu (zīm. c), no kura atrod šo spēku kopspēka R_1 lielumu un virzienu. Ar spēku plāna un atbilstošā virves poligona palīdzību parastā veidā atrod R_1 uz zīm. a. Piemēram, zīm. c izvēlas brīvi kādu polu O_1 , kuru savieno ar G_1 , E_1 , resp. R_1 gala punktiem. Ar paralelām līnijām šiem stariem, veido virves poligonu zīm. a: brīvi izvēlēta vietā krusto G_1 darbības līniju ar līniju 1, kas ir \parallel spēku plāna staram 1. No dabūtā krustpunkta velk līniju 2 (\parallel staram 2) līdz krustošanai ar spēku E_1 . No šī krustpunkta velk līniju 3 (\parallel staram 3)

līdz krustošanai ar līniju 1. Caur līniju 1 un 3 krustpunktu jāiet kopspēkam R_1 , jo, kā redzams spēku plānā (zīm. c), spēks R_1 atrodas starp stariem 1 un 3. (Par spēku sumēšanu ar spēku plāna un virves poligona palīdzību skat. statikā). Kopspēkam R_1 krustojot iedomāto šuvi, dabū punktu m_1 . Sumējot turpmāk aprakstītā veidā spēkus R_1, G_2, E_2 , dabū to kopspēku R_2 un tā krustošanās punktu ar iedomāto šuvi - m_2 . Tāpat dabū R_3 (sumējot R_2, G_3, E_3) un punktu m_3 . Savienojot šādus kopspēka krustošanās punktus m_1, m_2, m_3 , dabū t.s. spiediena līniju, resp. m_1, m_2, m_3 ir spiediena līnijas punkti. R_3 ir G_1, E_1, G_2, E_2, G_3 un E_3 kopspēks. Kopspēku R_3 var sadalīt horicontālā - H un vertikālā - N komponentēs (zīm. c). Šīs R_3 komponentes H un N darbojas uz pamata šuvi. Tāpat var arī sadalīt spēkus R_1 un R_2 komponentēs, jo tās vajadzīgas spriegumu noteikšanai sienas šuvēs.

S p r i e g u m u d i a g r a m a s .

Zīm. a) parādīta atbalstsienas līmeniskā šuve (šķēliens) aa plānā (virsskatā). Kā jau agrāk teikts, no atbalstsienas rēķinā apskata tikai 1,0 m platu joslu, ko iedomājas izgrieztu no pārējās sistēmas. Šīs joslas kodols atrodas vidējā trešdaļā (rombs raustītā laukumā. Patiesībā visai atbalsta sienai šis rombs ir izstiepts garumā). Ja spēka iedarbes punkts atrodas ārpus šī kodola, tad pretējā malā rodas stiepes piepūles.

Uz šuvi (šķēlienu) aa (zīm. b) darbojas kāds kopspēks R , kuru saliek 2 komponentēs: vertikālā N un horicontālā jeb tangencialā H . Tangencialu komponenti H var neievērot pie spriegumu noteikšanas atbalsta sienas šuvei (šķēlieniem). Jāskatās tikai uz to, lai nevarētu iestāties pārvietošanās vienas sienas daļai gar otru (ja ir istas šuves), vai atbalsta sienai gar pamatni. Tāpēc berzes koeficientam μ starp atsevišķām ar šuvi atdalītām sienas daļām, tāpat starp sienas mūri un pamatni, jābūt lielākam par $\text{tg } \vartheta$ (zīm. b), t.i. $\mu > \text{tg } \vartheta$. Sienas šķēlienos, kur nav tieši veidotas šuves (nav betonēšanas pārtraukuma šuves, izolācijas šuves u.t.t.), H izsauc bīdes spriegumus τ .

$$\tau = \frac{H}{d \cdot 100} \leq \text{adm } \sigma \text{ kg/cm}^2 \text{ (bīdei)}, \text{ kur } H - \text{kilogramos un } d - \text{centimetros; } 100 \text{ nozīmē } 1,0 \text{ m platu joslu centimetros.}$$

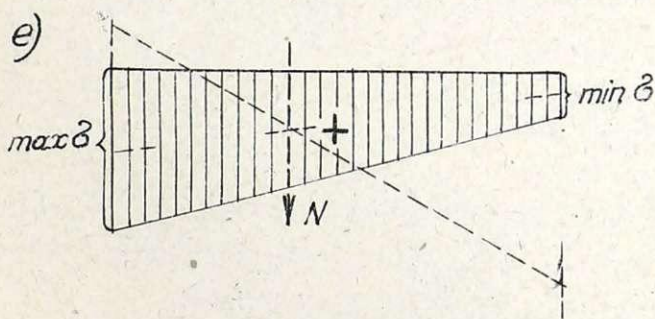
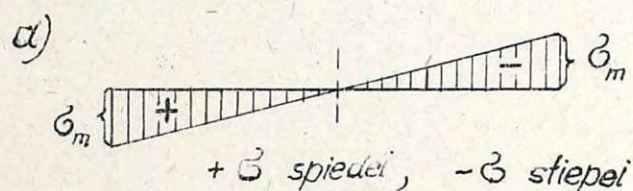
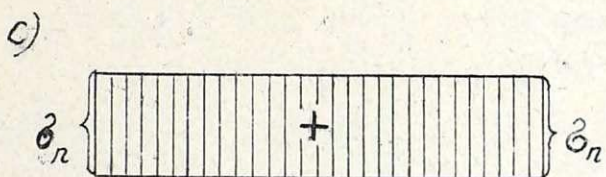
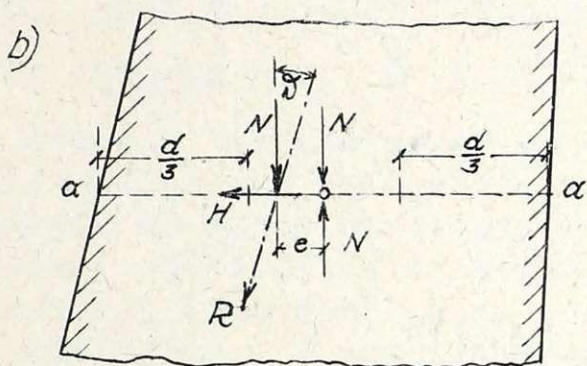
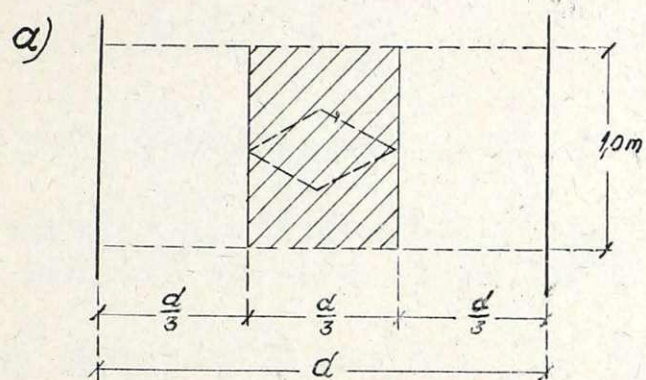
Parasti pie mūriem to nemaz nepārbauda, jo tas ir mazs. Spēka N atstatumu no šķēliena vidus apzīmē ar e (ekscentrisitāte). Šķēliena vidū iedomājas pieliktus divus vienādus, bet pretēji virzītus spēkus N . Tad spēks N attālumā e no šķēliena vidus veido ar vienu no spēkiem N šķēliena vidū (ar to, kas virzīts uz augšu) spēku pāri ar plecu e , resp. momentu $M = N \cdot e$. Tā tad šķēlienā darbojas moments $M = N \cdot e$ un vertikāls spēks N (tas, kas virzīts uz leju), kas pielikts šķēliena vidū. Šis pēdējais spēks izsauc šķēlienā vienmērīgu spriegumu

$$\sigma_n = \frac{N}{F} = \frac{N}{d \cdot l} \text{ (skat. zīm. c).}$$

Spriegumi, ko izsauc moments $M = N \cdot e$, vienā pusē ir pozīvi, otrā negatīvi (skat. zīm. d).

$$\sigma_m = \pm \frac{M}{W} = \pm \frac{N \cdot e}{\frac{1,0 \cdot d^2}{6}} = \pm \frac{6 \cdot N \cdot e}{d^2}, \text{ kur}$$

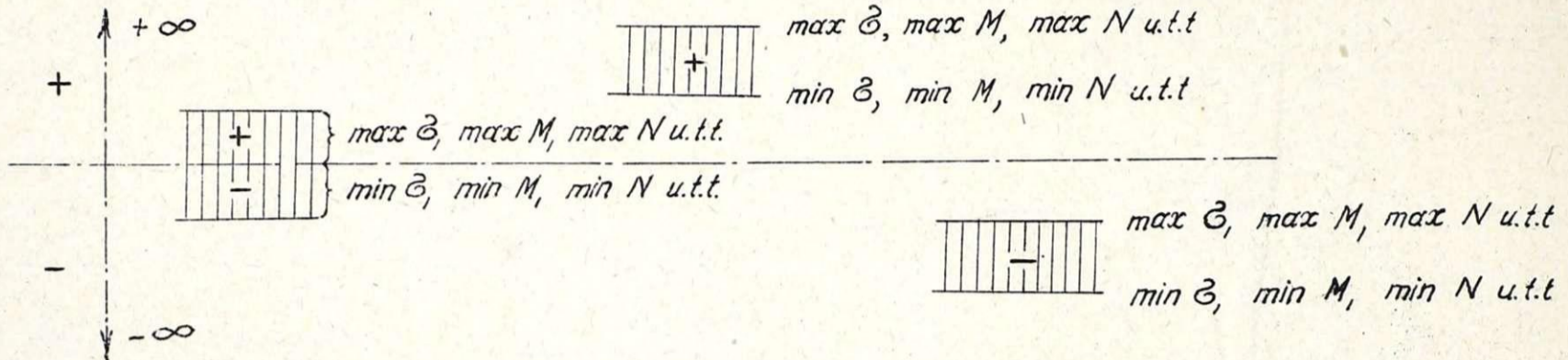
$W = \text{sienas šķēliena (taisnstūra) pretestības moments} = \frac{1,0 \cdot d^2}{6}$. Visu sprieguma diagramu šķēlienam aa dabū, saliekot abas zīm. c un zīm. d parādītās diagramas (skat. zīm. e). Tas pats analitiskā izteiksmē:



$$\begin{aligned} \max \sigma &= \frac{N}{F} + \frac{M}{W} = \frac{N}{d} + \frac{6 \cdot N \cdot e}{d^2} = \frac{N}{d} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{d} \right) \dots \quad (\alpha) \\ \min \sigma &= \frac{N}{F} - \frac{M}{W} = \frac{N}{d} - \frac{6 \cdot N \cdot e}{d^2} = \frac{N}{d} \left(1 - \frac{6 \cdot e}{d} \right) \dots \end{aligned}$$

$$\max \sigma = \sigma_n + \sigma_m = \frac{N}{d} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{d} \right); \quad \min \sigma = \sigma_n - \sigma_m = \frac{N}{d} \left(1 - \frac{6 \cdot e}{d} \right)$$

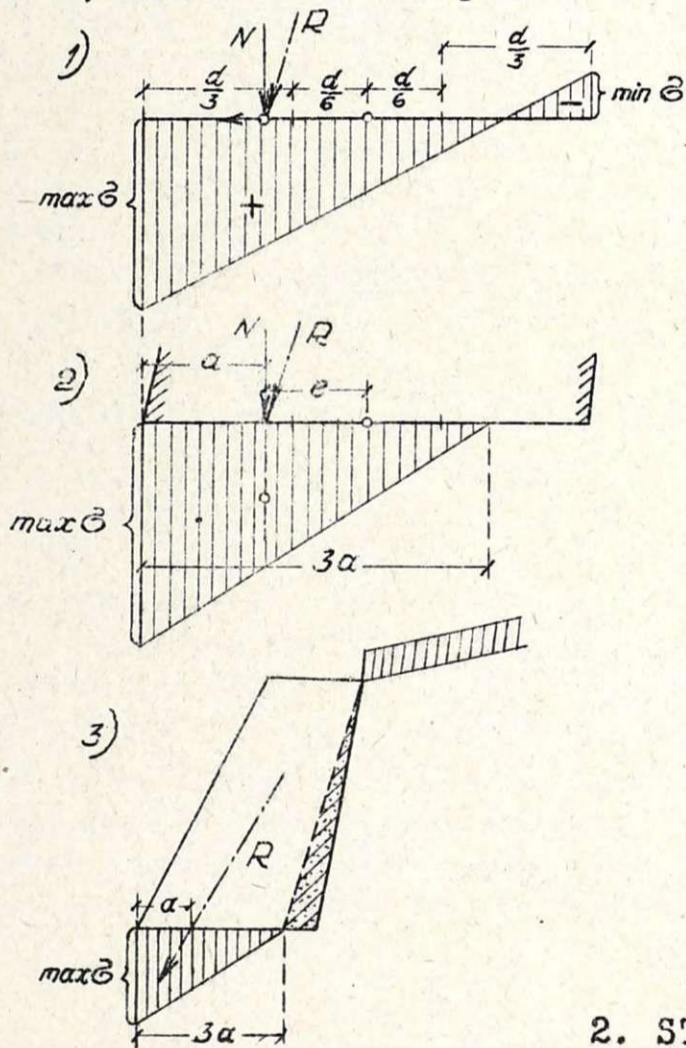
Kas uzskatāmi par max σ , min σ ; max M, min M; max N, min N u.t.t.?



Būvmechanikā tās vērtības, kas tuvāk $+\infty$ skaita par max vērtībām, kas tālāk no $+\infty$, resp. tuvāk $-\infty$, skaita par min vērtībām.

Ja kopspēks R, resp. N atrodas kodolā (vidējā trešdaļā), tad neparādas stiepes spriegumi. Tad spriegumu diagrama ir trapecē un spēkam N jāiet caur trapeces smaguma centru (zīm. e 33.lpp.).

Apskatot (α) sakarību tuvāk, var pateikt: kāmēr $\frac{6 \cdot e}{d} < 1$, tad $\min \sigma > 0$; pie $\frac{6 \cdot e}{d} = 1$, $\min \sigma = 0$ un spēks N stāv uz trešdaļas līnijas (kodola malā), jo tad $e = \frac{d}{6}$. Ja spēks N stāv ārpus kodola, t.i. $e > \frac{d}{6}$, tad pretējā malā



ir stiepe (šuve atvērsies). Ja materials var stiepei pretoties, tad var rēķināties ar stiepi un spriegumu diagrama būs tāda, kā zīm. 1). Šuve starp sienu un pamatni (apakšējā šuve) nespēj pretoties stiepei, tāpēc spriegumu diagrama nesaturēs stiepto daļu. Ignorējot stiepes spriegumus, tad spiedes spriegumi (max σ) palielinājas, un to maksimālo vērtību atrod pēc zīm. 2) no sakarības:

$$\frac{N}{t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3a \cdot \max \sigma}{m} \cdot 1,0; \quad \max \sigma = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot a} \text{ t/m}^2 \quad (\beta)$$

Jāievēro, ka šis max σ būs lielāks par max σ 1) gadījumā.

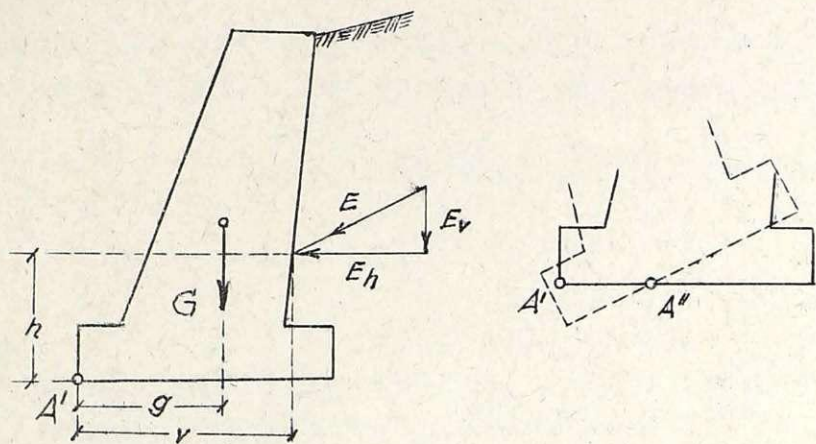
Ja pie atbalsta sienām kopspēks apakšējā šķēlienā iziet no kodola, bet max σ , kas atrasts pēc (β) sakarības, ir mazāks par adm σ , tad siena stabila un svītrotā mūra daļa lieka. Noteicošais ir, lai

$$\max \sigma \leq \text{adm } \sigma$$

2. STĀVĪGUMS - DROŠĪBA PRET APGĀŠANU.

Prasa, lai siena būtu droša pret apgāšanu ap punktu A'. Zemes spiediena E komponentes E_h un E_v ; E_h mēģina sienu apgāzt. Gāzošais moments ir: $E_h \cdot h$. Tam pretim darbojas moments: $G \cdot g + E_v \cdot v$. No šejienes dabū drošības reizuli pret apgāšanu:

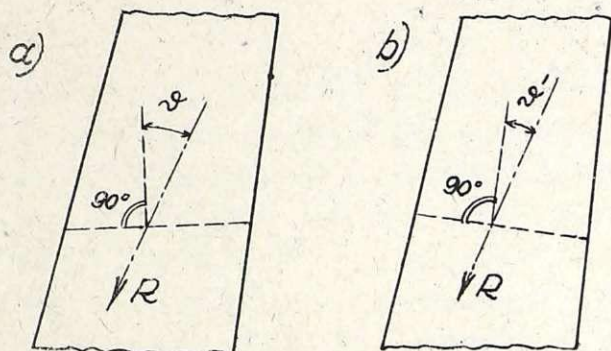
$$k = \frac{G \cdot g + E_v \cdot v}{E_h \cdot h}$$



Prasa, lai $k \geq 2 + 3$. Skursteņiem prasa, lai $k \geq 3$, bākām ≥ 5 . Šim rēķinam ir tikai konvencionēla nozīme, jo siena negāzīsies ap punktu A' , bet ap kādu citu punktu A'' , kas var būt tuvāks centram. Tad pleci g un v būs mazāki, līdz ar to arī drošības reizinātājs k mazāks.

3. PRETESTĪBA SLIDĒŠANAI.

Kā jau aprakstīts 33.lpp., slidēšanu var izsaukt kopspēka R horizontālā komponente H , ja šis H ir tik liels, ka pārvar berzi attiecīgā šuvē. Prasa, lai $\mu > \tan \delta$. No slidēšanas var izbēgt, ja šuvi izveido mākslīgi slīpi. Tā b) gad. $\delta' < \delta$. Slidēšanas briesmas parasti nedraud, ja ir viengabalains mūris vai smilšu grunts. Slidēšana sevišķi ievērojama pie mālainās grunts. Ja sienu liek uz māla, kur var pieklūt ūdens, tad visa būve var noslidēt. Tādiem gadījumiem jāpieiet ar sevišķu uzmanību.



000 --- 000

STATISKI NOTEIKTI DARINĀJUMI (PLAKNĒ)

MĀCĪBA PAR SIJĀM

Sija ir darinājums, kura uzdevums ir pārnest ārējos spēkus (slodzes) uz balstiem. Šo uzdevumu sija veic ar iekšējo spēku pretestības (momentu, ass spēku, cirpes spēku) palīdzību. Kā jau paskaidrots ievadā, sijas atšķiras no lokiem un rāmjiem ar to, ka pie tām parasti no vertikāliem spēkiem arī balstu reakcijas ir vertikālas, nerodas balstu reakciju horizontālā komponente - balstbīde. Tāpat sijā, kad ārējie spēki vertikāli, kā iekšējie spēki darbojas momenti (M) un cirpes spēki (Q), bet ass spēki (N) nevar rasties, jo sijām tikai viens balsts veidots nekustīgs (II šķiras balsts), otram balstam (pie vienkāršās sijas, konsolsijas) vai pārējiem balstiem (pie nepārtrauktās sijas) ir dota kustības brīvība horizontālā virzienā (I šķiras balsts). Tas tā teoretiski, bet praktiski rite vai slīde pie kustīgām balstīklām (kustīgiem balstiem) notiek ar zināmu berzi, kas izsauc sijā arī ass spēku (N). Pie siju dimenziju noteikšanas šādi ass spēki nav jāievēro. Ja to darītu, tad vajadzētu attiecīgi aprēķināt arī momentus, jo šādi izsaukti ass spēki ir ciešā sakarībā ar momentiem (skat. par sijas veidīgu loku 8.lpp.) Sijas ass ir parasti taisna un horizontāla un spēki iedarbojas vertikāli. Ja spēki nav vertikāli vai stateniski sijas asij, tad tie jāsaliek komponentēs: viena komponente darbojas vertikāli, resp. stateniski sijas asij, izsaucot momentu un cirpes spēku, bet otrā komponente darbojas horizontāli resp. paraleli sijas asij, izsaucot ass spēku.

Uz sijas darinājumu var darboties sekojoši slodzējumu veidi (skat. sīkāk ievadā):

1. nemainīgā (pastāvīgā, nekustīgā) vai mainīgā (kustīgā) slodze,
2. koncentrētā vai izklaidētā slodze,
3. tiešā vai netiešā slodze, resp. slodzējums.

(Patiesībā stingri koncentrētas slodzes nav - tā arvien izklaidēta lielākā vai mazākē laukumā). Aprēķināšanas paņēmieni izveidoti pieskaņojoties dažādām šo slodzējumu veidu kombinācijām.

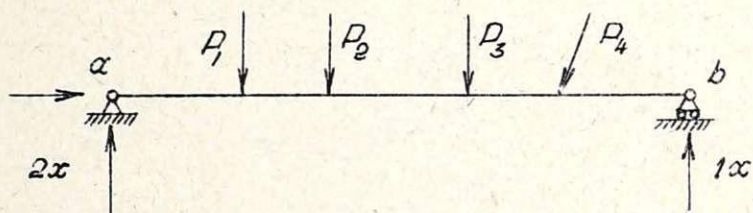
Atkarīgi no balstu skaita un balstišanas veidiem, sijas var sadalīt:

- 1) vienkāršā sija,
- 2) konsole,
- 3) konsolsija (Gerbera sija) un
- 4) nepārtrauktā sija (statiski nenoteikta).

Vienkāršā sija, konsole un konsolsija ir statiski noteikti darinājumi (skat. ievadā) un apskatīti šinī nodaļā. Nepārtrauktā sija kā statiski nenoteikts darinājums apskatīts 2. daļā attiecīgā nodaļā.

Vienkāršā sija

Par vienkāršo siju sauc darinājumu no viena stieņa (parasti taisna), kas atbalstīts abos galos, t.i. uz 2 balstiem. Vienā galā sija var tikai griezties ap kādu locīklu, horicontālās vai vertikālās kustības brīvības tai nav (atņemtas 2 kustības brīvības - II šķiras balsts); otrā galā tā var griezties ap kādu locīklu un pārvietoties arī horicontālā virzienā, bet nav vertikālās kustības brīvības (atņemta 1 kustības brīvība - I šķiras balsts). Piemēram, a punktā sija var tikai griezties ap locīklu. Zinams reakcijas pielikšanas punkts, bet nav zinami reakcijas virziens un lielums - 2 nezinami; b punktā sija var griezties ap locīklu un arī pārvietoties horicontāli. Zinami reakcijas pielikšanas punkts un virziens, bet nav zinams reakcijas lielums - 1 nezinams. Kopā 3 nezinami, bet tiem var pretīm stādīt 3 līdzsvara noteikumus (skat. ievadā), tāpēc darinājums statiski noteikts. Praksē parasti vienkāršā sija horicontāla un visi spēki iedarbojas uz to



vertikāli, tāpēc abām balstu reakcijām jābūt vertikālām (sijām pie vertikāliem spēkiem arī balstu reakcijas ir vertikālas). Šinī gadījumā paliek tikai 2 nezinami - abu reakciju lielumi. Bet būs arī tikai 2 līdzsvara noteikumi: $\sum Y = 0$ un $\sum M = 0$; $\sum X = 0$ atkrīt, jo vertikāliem spēkiem nav horic. komponentes. Turpmāk apskatīti aprēķināšanas paņēmieni, kad spēki vertikāli. Slīpos spēkus var sadalīt vertikālās un horicontālās komponentēs un tālākā aprēķināšanas gaita parastā.

APRĒĶINĀŠANAS GĀJIENS.

1. Noskaidro visas ārējās slodzes (arī pašsvaru), viņu raksturu (kustīgā - nekustīgā, koncentrētā - izklaidētā, tiešā - netiešā), lielumu un pielikšanas punktus.
2. Atrod balstu reakcijas, izejot no līdzsvara noteikumiem.
3. Pieskaitot balsta reakcijas ārējiem spēkiem, atrod atbilstošus iekšējos spēkus, galvenā kārtā lieces momentus un cirpes spēkus (pie vert. slodzes nav ass spēku).

Ar to būvmechanikas uzdevums izpildīts, jo tālāko spriegumu aprēķināšanu apskata stiprības mācība.

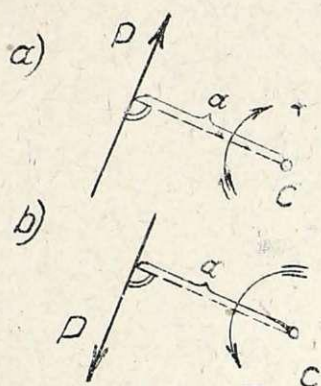
LIETOTI APZĪMĒJUMI.

Schematiski siju apzīmē ar tās smaguma asi.

- l - balstu attālums, sijas laidums,
- A un B - attiecīgo balstu reakcijas (arī balstu apzīmējumi),
- P - kāda koncentrēta slodze (spēks),
- g - pastāvīgā (nemainīgā), vienmērīgi izklaidētā slodze uz sijas garuma vienību, piem. kg/m,
- p - kustīgā (mainīgā), vienmērīgi izklaidētā slodze uz sijas garuma vienību (kg/m)
- q = p + g - kopējā, vienmērīgi izklaidētā slodze (kg/m),
- x - kāda sijas šķēliena attālums no kreisā balsta,
- z - tā paša šķēliena " " labā balsta,
- M_c - lieces moments šķēlienā C, t.i. no šķēliena C pa kreisi vai pa labi esošo ārējo spēku statisko momentu suma pret šī šķēliena smaguma centru (sijas asi).
- Q_c - cirpes spēks šķēlienā C, t.i. no šķēliena C pa kreisi vai pa labi esošo ārējo spēku (slīpo spēku gadījumā šo vertikālo komponentu) kopspeks.
- N_c - ass spēks šķēlienā C, slīpo ārējo spēku horicontālā komponente.

Spēka statistiskais moments

Ir dots kāds spēks P . No punkta C velk stateni pret P virzienu. Šo statena garumu a sauc par spēka P plecu pret punktu C . Spēks P mēģina griezties ap punktu C . Spēka P reizinājumu ar attālumu a (plecu) sauc par spēka P statisko momentu pret punktu C : $M = P \cdot a$. Ir pieņemts nosaukt spēka P statisko momentu par pozitīvu, ja spēks P cenšas plecu a pagriezt pulkstenrādītāja virzienā, kā redzams zīm. a; pretējā gadījumā spēka P statistiskais moments ir negatīvs (zīm. b). Kā turpmāk pierādīts, dažreiz spēka statistiskais moments sakrīt ar lieces momentu, dažreiz nesakrīt (starpība virzienos).



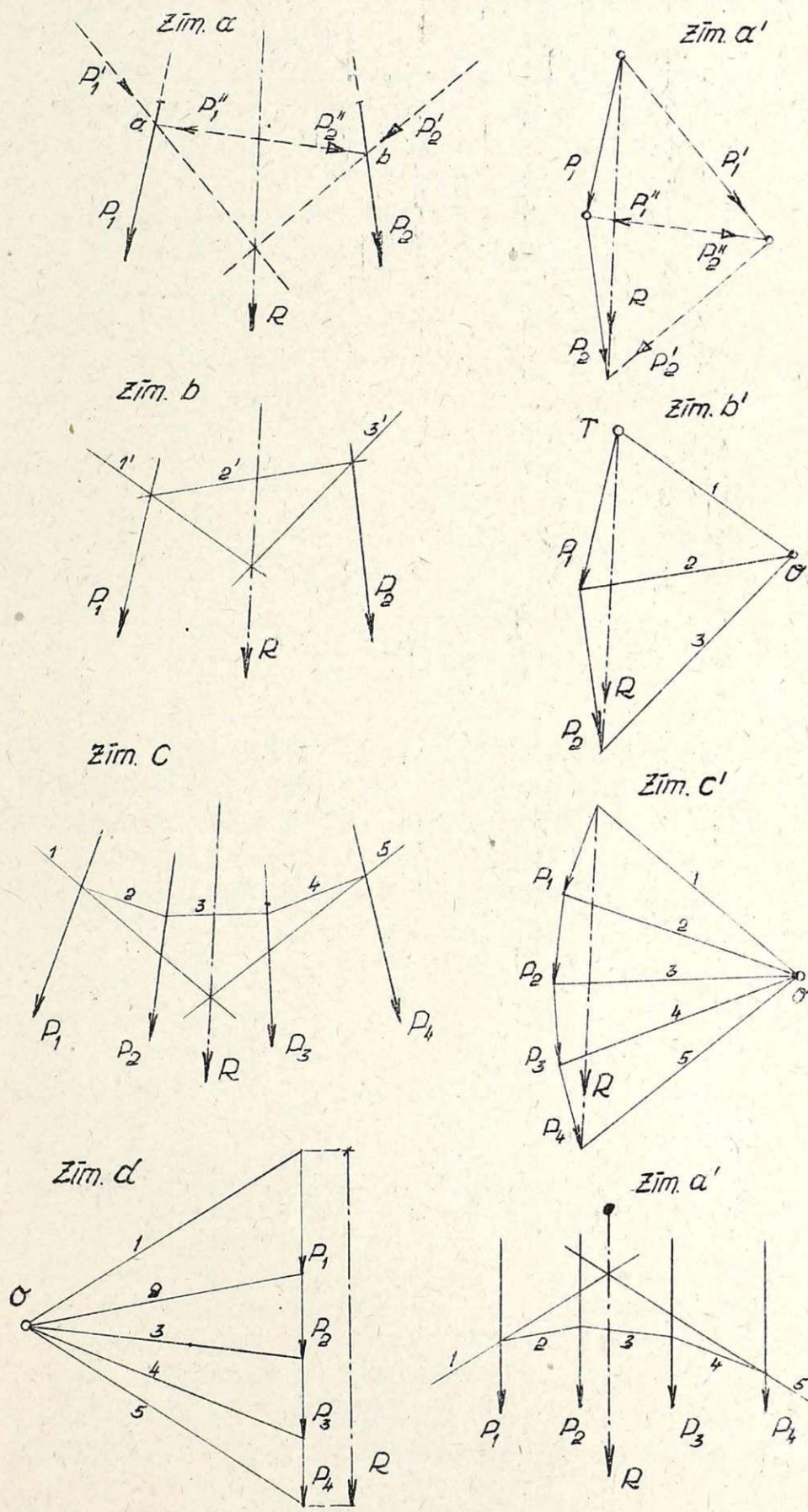
Spēku saskaitīšana un sadalīšana plaknē

(Skat. prof. Vitols, Statika plaknē un prof. Rozenauers, Statika).

Zemāk īsumā atstāstīts grafisks paņēmieni spēku saskaitīšanai vai sadalīšanai ar spēku plāna un virves poligona palīdzību. Šo paņēmieni plaši pielieto būvmechanikā.

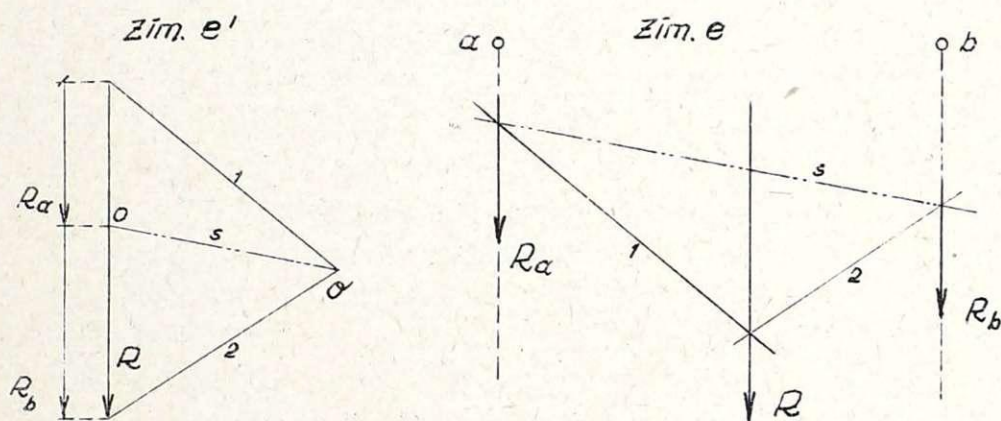
Zīm. a doti spēki P_1 un P_2 (plaknē) ar lielu - miem, virzieniem un iedarbes līnijām (resp. pielikšanas punktiem). Ar to spēki P_1 un P_2 ir pilnīgi noteikti. Uzdevums ir spēkus P_1 un P_2 grafiski saskaitīt, t.i. atrast to kopspēku R ar lielumu, virzienu un iedarbes līniju (darbības līniju). Šim nolūkam konstruē parastā veidā spēku plānu jeb poligonu un atrod kopspēka R lielumu un virzienu, savienojot P_1 un P_2 gala punktus (zīm. a'). Lai atrastu kopspēka R iedarbes līniju, resp. stāvokli doto spēku starpā (zīm. a), varētu pagarināt P_1 un P_2 virzienus līdz krustošanai un caur šo krustpunktu vilkt kopspēku R , paraleli R virzienam spēku plānā (zīm. a'). (Līdzsvara gadījumā visi spēki krustojas vienā punktā) Bet šis krustpunkts var atrasties lielā attālumā (paraleliem spēkiem bezgalībā), tāpēc pastāv cits paņēmieni R iedarbes līnijas noteikšanai šādos gadījumos. Zīm. a' spēku P_1 sadala spēkos P'_1 un P''_1 , kura virzieni izvēlēti pilnīgi patvaļīgi. Tāpat spēku P_2 sadala spēkos P'_2 un P''_2 , tie tam tā, lai P''_2 lielums un virziens sakristu ar P''_1 lielumu un virzienu, tikai apakšvirzieni (apzīmēti ar bultiņām) ir pretēji. Tāpēc spēki P''_1 un P''_2 iznīcina viens otru; seko, ka P_1 un P_2 kopspēks R ir arī P'_1 un P'_2 kopspēks.

Tad zīm. a no kāda patvaļīgi pieņemta punkta a uz spēka P_1 velk paralelas līnijas spēku plānā (zīm. a') esošo spēku P'_1 un P''_1 virzieniem, dabūjot iedomāto spēku P'_1 un P''_1 iedarbes līnijas (brīvi izvēlēta vietā, jo punkts a izvēlēts brīvi). Tāpat rīkojas ar spēku P_2 punktā b , tikai punkts b , kur spēku P_2 sadala virzienos P'_2 un P''_2 , dabūts spēka P''_1 iedarbes līnijai krustojoties ar spēku P_2 . Tad spēku P''_2 un P''_1 iedarbes līnijas arī sakrīt. Augstāk pierādīts, ka R ir arī P'_1 un P'_2 kopspēks, tāpēc tam zīm. a jāiet caur P'_1 un P'_2 iedarbes līniju krustpunktu (R ir sadalīts iedomātos spēkos P'_1 un P'_2). Kopspēki arvien



iet caur viņu komponentu krustpunktu. Tā kā augstāk P'_1 un P'_2 virzieni pieņemti pilnīgi brīvi, tad no aprakstītā izriet vienkārša konstrukcija P_1 un P_2 kopspēka R lieluma, virziena un iedarbes līnijas noteikšanai (skat. zīm. b un zīm. b' 37.lpp.). Sākot no kāda brīvi izvēlēta punkta T (zīm. b') sasumē spēkus P_1 un P_2 pēc virziena un lieluma (kautkāda spēku mērogā) un atrod kopspēka R lielumu un virzienu. Tad brīvi izvēl kādu polu O , kuru savieno ar stariem 1, 2 un 3 (zīm. b'). Paraleli šiem stariem velk starus 1', 2', 3', kā parādīts zīm. b. Caur staru 1' un 3' krustpunktu jāiet kopspēka R iedarbes līnijai, kas ir paralels zīm. b' atrastam R virzienam. Zīm. b' parādīto zīmējumu sauc par spēku plānu (spēku poligonu), bet stari 1', 2', 3' zīm. b attēlo laužto līniju, ko sauc par virves poligonu. Tā šo konstrukciju izdara pilnīgi mehaniski, nemaz nedomājot, ka stari 1, 2, 3 attēlo kādus spēkus (zīm. a un a' spēki $P'_1, P''_1 = P''_2, P'_2$). Zīm. c un c' ir parādīta šāda konstrukcija vairākiem slīpiem spēkiem, bet zīm. d un d' visi doti spēki ir paraleli.

Var gadīties, ka kāds spēks R jāsadala divos tam paralelos spēkos R_a un R_b , kuru iedarbes līnijām jāiet caur zinamiem punktiem a un b (zīm. e). Spēku plānā zīm. e' patvaļīgi izvēlēto polu O savieno stariem 1 un 2 ar R gala punktiem. Paraleli šiem stariem velk virves poligona starus 1 un 2 (zīm. e) līdz krustošanai ar līnijām, kas vilktas caur punktiem a un b paraleli R virzienam. Savienojot šos krustpunktus ar līniju s un velkot tai paralelu līniju spēku plānā (zīm. e') no pola O , dabū krustpunktu O , kas sadala spēku R divos meklētos spēkos R_a un R_b . Līniju s sauc par slēdzēju. Kā redzams, šeit konstrukcija ir pretēja tai, kāda lietota pie spēku saskaitīšanas. Spēks R ir R_a un R_b kopspēks.



I. NEMAINĪGĀ (PASTĀVĪGĀ) SLODZE

A. Tiešā slodzēšana ar koncentrētiem spēkiem

BALSTU REAKCIJAS

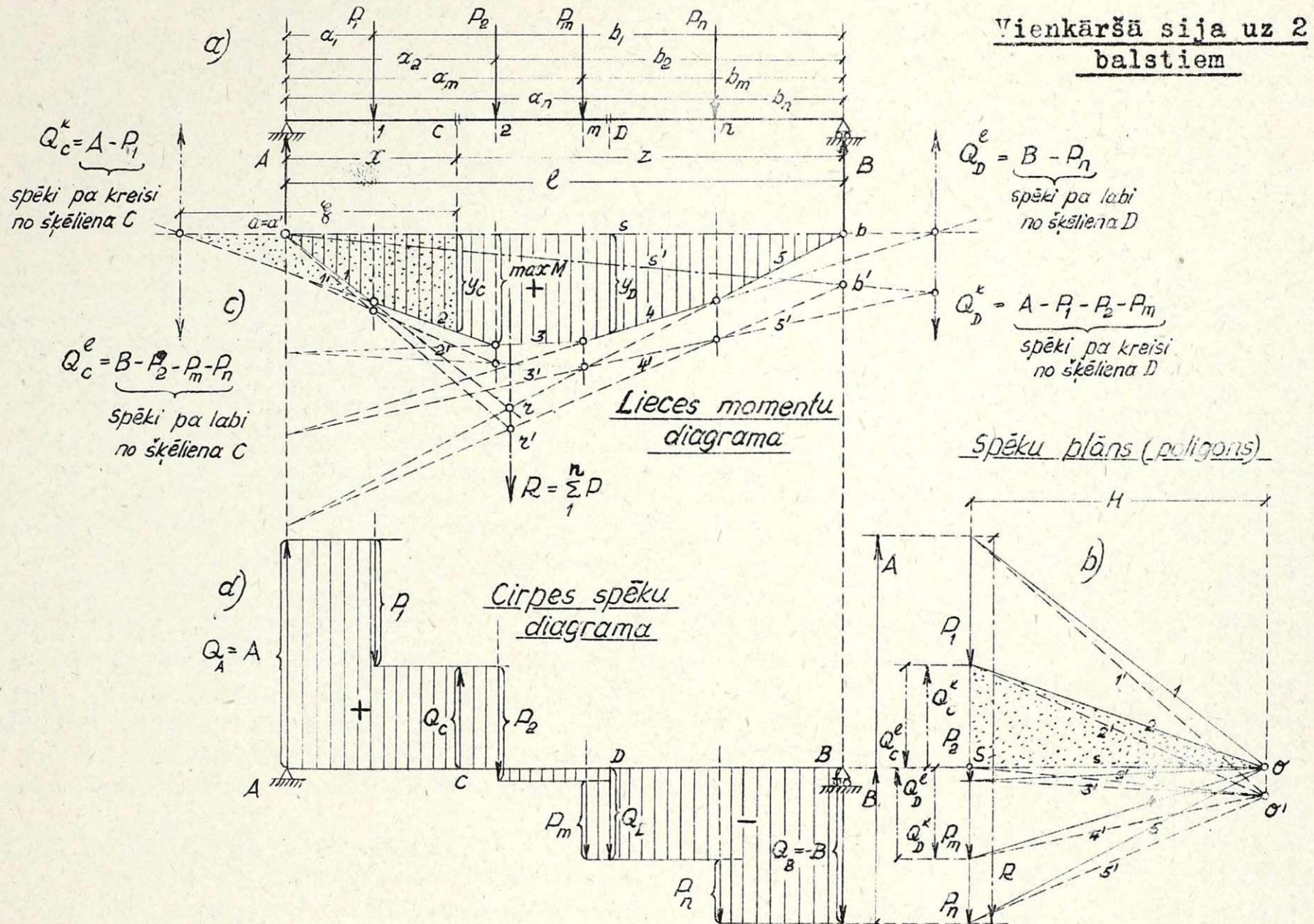
Dota horizontāla sija ar vertikāliem spēkiem $P_1, P_2 \dots P_n$ (zīm. a 39.lpp.). Tā kā visi šie spēki ir vertikāli un arī balsta reakcija B ir vertikāla, tad balsta reakcijai A arī jābūt vertikālai, jo tikai tad būs izpildīts noteikums $\sum X = 0$. Tagad zināmi balstu reakciju A un B pielikšanas punkti un virzieni (vertikāli). Ar atliekošiem līdzsvara noteikumiem 1) $\sum Y = 0$ un 2) $\sum M = 0$ (resp. $\sum M_1 = 0$ un $\sum M_2 = 0$) jāatrod balstu reakciju A un B lielumi. To var izdarīt grafiski un analitiski.

1) Grafiskais balstu reakciju atrašanas paņēmieni.

Grafiski balstu reakciju A un B lielumus atrod, noteicot vispirms ārējo spēku $P_1, P_2 \dots P_n$ kopspēku R (kā parādīts zīm. d un d' 37. lpp.) un to sadalot divos viņam paralelos spēkos A' un B' (kā parādīts zīm. e un e'). Šim nolūkam brīvi izvēl polu O' , konstruē spēkiem $P_1, P_2 \dots P_n$ spēku plānu (zīm. b 39.lpp.) un atbilstošo virves poligonu (zīm. c). Tā atrasti kopspēka R lielums, virziens un iedarbes līnija. Virves poligona malējie stari 1' un 5' krusto balstu reakciju A un B virzienus punktos $a = a'$ un b' . Savienojot šos punktus ar slēdzēju s' un novelkot spēku plānā (zīm. d) no pola O' šim slēdzējam paralelu taisni s' , ar to sadalot kopspēku R divās daļās: reakcijā A , starp stariem s' un 1' un reakcijā B , starp stariem 5' un s' . Balstu reakcijas ir līdzsvarā ar aktīviem spēkiem, tāpēc spēku poligonam (zīm. b) un virves poligonam (zīm. c) jābūt slēgtiem (skat. prof. A. Vitols, Statikā 39.lpp.: Grafostatiskie līdzsvara noteikumi). Tā tas ir arī šinī gadījumā, jo A, B un R spēku poligons (vienā taisnē: $R = A + B$) un atbilstošais virves poligons $a = a' - b' - r'$ ir noslēgti. Var pārbaudīt arī tā: spēku poligoni $A s'1', B s'5'$

un R 1'5' (zīm. b) ir noslēgti trijstūri, tāpēc tiem jākrustojas virves poligona (zīm. c) vienā punktā: A, s' un l' punktā a = a', B, s' un 5' punktā b' un R, l' un 5' punktā r'.

Ja vēlas, lai slēdzējlinija s virves poligonā būtu horizontāla, tad spēku plānā jeb poligonā (zīm. b) no punkta S velk horizontālu taisni s - 0 līdz vertikalei, kas iet caur agrāko polu 0', dabū meklēto isto pola vietu 0. Konstruējot otrreiz virves poligona ar polu 0, dabū horizontālu slēdzējliniju s. Kā redzams zīm. c, jauno virves poligona ar horizontālo slēdzēju s varētu dabūt arī no citādām geometriskām sakarībām.



2) Analītiskais balstu reakciju atrašanas paņēmieni.

Analītiski balstu reakcijas atrod, pielietojot atlikušos līdzsvara noteikumus 1) $\sum M = 0$ un 2) $\sum Y = 0$ (resp. 1) $\sum M_1 = 0$ un 2) $\sum M_2 = 0$).

Balsta reakciju A atrod, ņemot visu ārējo spēku (aktīvo spēku $P_1, P_2 \dots P_n$ un balstu reakciju A un B) statisko momentu sumu pret B punktu (skat. zīm. a) un pielīdzinot to nullei ($\sum M = 0$ - līdzsvara gadījumā):

$$A \cdot l - P_1 \cdot b_1 - P_2 \cdot b_2 - P_m \cdot b_m - P_n \cdot b_n + B \cdot 0 = 0, \text{ resp. } A \cdot l - \sum_1^n P \cdot b = 0, \text{ no kā}$$

$$A = \frac{\sum_1^n P \cdot b}{l}$$

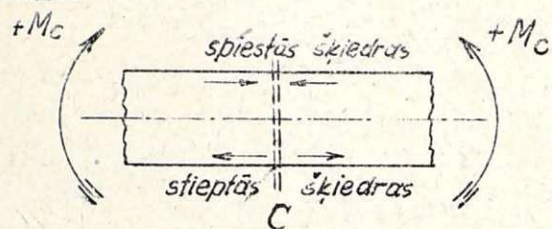
Balsta reakciju B var atrast no līdzsvara noteikuma $\sum Y = 0$, vai arī sastādot statisko momentu nolīdzinājumu pret balstu A: ($\sum M_2 = 0$):

$$B \cdot l - \sum_1^n P \cdot a = 0, \text{ no kā } B = \frac{\sum_1^n P \cdot a}{l}$$

LIECES MOMENTI

Ar balstu reakciju atrašanu noteikti visi ārējie spēki. Tālāk atrod tiem atbilstošus iekšējos spēkus: lieces momentus un cirpes spēkus.

Par lieces momentu kādā sijas šķēlienā C sauc šim šķēlienam vienā pusē esošo ārējo spēku statisko momentu sumu pret šķēliena C smaguma centru (statisko momentu sumu no spēkiem, kas atrodas pa kreisi vai pa labi no šķēliena, kam meklē lieces momentu). Var būt runa arī par visu spēku statisko momentu sumu pret kādu sijas šķēlienu. Šāds moments nav lieces, bet kāds vispārējs statisks moments, kas līdzsvara gadījumā ir nulle ($\sum M=0$, līdzsvara noteikums), bet lieces moments nebūs nulle. Piešijām pieņemts skaitīt par pozitīvo to lieces momentu, kas izsauc spiedi sijas augšējās šķiedrās, bet stiepi apakšējās. No tā seko, ka pa kreisi no kāda griezuma moments būs pozitīvs, ja tas darbojas pulksteņrādītāja virzienā: \curvearrowright , pretējā gadījumā - negatīvs: \curvearrowleft .



Labajai sijas daļai (pa labi no griezuma) moments būs pozitīvs, ja tas darbojas pret pulksteņrādītāja virzienu: \curvearrowleft , bet pretējā gadījumā - negatīvs: \curvearrowright (Pie rāmju konstrukcijām par pozitīvo skaita to lieces momentu, kas izsauc spiedi ārējās šķiedrās, bet stiepi - iekšējās).

Pamatojoties uz augšā minēto, momentu šķēlienā C var izteikt analitiski (pēc zīm. a 39.lpp.)

$$1) M_c = A \cdot x - P_1(x - a) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{šķēlienam } c \text{ pa kreisi esošo ārējo spēku statisko momen-} \\ \text{tu sumu pret šķēliena } c \text{ smaguma centru.} \end{array} \right.$$

$$2) M_c = B \cdot z - P_2(z - b_2) - P_m(z - b_m) - P_n(z - b_n) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{šķēlienam } C \text{ pa labi esošo ārējo spēku statisko momentu} \\ \text{sumu pret šķēliena } C \text{ smaguma centru.} \end{array} \right.$$

Šos abus nolīdzinājumus var uzrakstīt vispārējā veidā:

$$M_c = M_x = A \cdot x - \sum_0^x P(x - a) = B \cdot z - \sum_0^z P(z - b)$$

No šiem nolīdzinājumiem redzams, ka lieces momenta dimenzijas izteiksies kā spēka reizinājums ar garumu: tm (ton-metri), kg m (kilogram-metri), kgcm (kilogram-centimetri) u.t.t. Ērtības labad lieces momentu aprēķina no tās puses, kur darbojas mazāk spēku, piem. šinī gadījumā šķēlienam c (zīm. a 39.lpp.) no kreisās puses kā spēku A un P_1 statisko momentu sumu pret šķēliena c smaguma centru (1. nolīdzinājums). Ja minētās ērtības dēļ aprēķina lieces momentu no šķēlienam pa labi esošiem spēkiem, tad jāievēro, ka šis lieces moments ir vienlīdzīgs ar lieces momentu no šķēlienam pa kreisi esošiem spēkiem, tikai darbības virzieni ir pretēji.

Lieces momentu var noteikt arī grafoanalitiski. Pēc superpozīcijas principa atsevišķo spēku statisko momentu sumai pret kādu šķēlienu jābūt vienādam ar to kopspēka statisko momentu pret to pašu šķēlienu. Tā piem. lieces moments šķēlienā C (zīm. a 39.lpp.) var izteikt kā spēku A un P_1 kopspēka $Q_c^k = A - P_1$ statisko momentu pret šķēlienu C. Šī kopspēka lielumu un virzienu dabū no spēku plāna (zīm. b 39.lpp.) un, kā redzams, tas virzīts uz augšu ($A > P_1$). Q_c^k iedarbes līniju (darbības līniju) dabū parastā veidā ar virves poligona palīdzību (zīm. c): tā kā kopspēks Q_c^k spēka plānā ietverts starp stariem s un 2, tad virves poligonā tam jāiet caur šo staru krustpunktu. Tagad var rakstīt:

$$M_c = A \cdot x - P_1(x - a) = Q_c^k \cdot \xi \quad \dots \quad (\alpha)$$

A un P_1 kopspēks Q_c^k ir virzīts uz augšu, tāpēc tā statistiskais moments = lieces momentam M_c un ir pozitīvs, jo darbojas pulksteņrādītāja virzienā. Zīm. b un zīm. c (39.lpp.) punkti trijstūri ir līdzīgi, jo malas s, 2 un kopspēka Q_c^k virziens ir paraleli. No šiem līdzīgiem trijstūriem:

$$\frac{Q_c^k}{H} = \frac{y_c}{\xi}, \text{ no kurienes } H \cdot y_c = Q_c^k \cdot \xi \quad \text{Pēc } (\alpha) \text{ nol.}$$

$$M_c = Q_c^k \cdot \xi, \text{ tāpēc arī } \boxed{M_c = H \cdot y_c} \quad \dots \quad (\beta)$$

Vienkāršās sijas lieces moments kādā šķēlienā C ir vienāds spēku plāna pola atstātuma H reizinājumam ar ordināti y_c . Ordināti dabū starp virves poligona ārējiem stariem zem šķēliena, velkot caur šo šķēlienu taisni paraleli kopspēkam Q (pie vertikāliem spē

kiem ordinate ir vertikāla). Parasti polu atstatumu H ņem spēku mērogā, kādā zīmēts spēku plāns, bet ordināti y ņem garumu mērogā, kādā zīmēta sija (dažreiz arī otrādi: H ņemts garumu mērogā, bet y - spēku mērogā, tas ir gluži vienāda). Var ņemt tādu mērogu, lai $M_c = y_c$ (piemēram ņemot $H = 1^t$), tad virves poligons ir arī lieces momentu diagrama, kur katra ordinate dod lieces momenta lielumu attiecīgā šķēlienā, mērojot garumu mērogā. Bet arī ar citādu pola atstatumu zīmētu virves poligonu var uzskatīt par lieces momentu diagramu, tikai jāaprēķina šīs diagramas mērogs. Piem. ja garumi mērogā $1 \text{ cm} = 1 \text{ m}$ ($1:100$) un $H = 25^t$, tad lieces momentu diagramas mērogs būs: $1 \text{ cm} = 25 \text{ tm}$ (zīm. c 39.lpp. lieces momentu diagrama ir svītrots laukums).

Lieces momentu diagramu dabū arī analitiski, piem. aprēķinot šajā koncentrēto spēku gadījumā lieces momentu lielumu zem katra spēka (jo tur diagramai lūzuma punkti), noliekot dabūtās vērtības kautkāda mērogā no kādas līmeniskas līnijas zem šiem spēkiem un savienojot gala punktus. Vispārīgi no diagramas lieces momenta lielumu dabū kurā katrā šķēlienā, mērojot diagramas ordinate zem šiem šķēļiem mērogā, kādā uzzīmēta diagrama. Literatūrā diagramu sauc arī par epiru.

Ja slodze virzīta uz leju, tad pie vienkāršām sijām visi momenti ir pozitīvi. Atrodot, piemēram, lieces momentu šķēlienā D (zīm. a 39.lpp.) no ārējiem spēkiem, kas darbojas pa kreisi no šī šķēliena, tad to kopspēks $Q_D^k = A - P_1 - P_2 - P_m$ virzīts uz leju ($A < P_1 + P_2 + P_m$ - skat. spēku plānā), pie tam Q_D^k iedarbes līnijai jāiet caur staru 4 un s krustpunktu, kas iznāk labā pusē no šķēliena D (un arī no balsta B). Bet arī šī kopspēka Q_D^k statistiskais moments pret šķēliena D smaguma centru = lieces momentam M_D un ir pozitīvs, jo darbojas pulksteņrādītāja virzienā (no spēkiem pa kreisi no šķēliena D). Apkārtā vēl arī lieces momentu no ārējiem spēkiem, kas darbojas pa labi no šķēliena. M_c (pa kreisi) = M_c (pa labi), tikai virzieni pretēji. Zīm. a (39.lpp.) šķēlienam D pa labi esošo ārējo spēku kopspēks ir $Q_D^l = B - P_n$. No spēku plāna redzams, ka tas būs virzīts uz augšu ($B > P_n$). Tā iedarbes līniju atrod staru s un 4 krustpunktā (sakrīt ar kopspēka $Q_D^k = A - P_1 - P_2 - P_m$ iedarbes līniju). Kopspēka $Q_D^l = B - P_n$ statistiskais moments pret šķēlienu D ir negatīvs, jo darbojas pret pulksteņrādītāja virzienu (statistiskais moments ir pozitīvs tikai pa pulksteņrādītāja virzienu - skat. 37. lpp.), bet lieces moments M_D , kas pēc lieluma vienāds ar šo statisko momentu, ir pozitīvs, jo tam šajā gadījumā virziens pret pulksteņrādītāja virzienu skaitās par pozitīvu (skat. 40.lpp.). Līdzīgi ir ar kopspēku $Q_C^l = B - P_2 - P_m - P_n$. Kā redzams, statistiskais moments nav vienmēr vienāds ar lieces momentu.

Vienkāršai sijai lieces momenti virs balstiem ir nulle, jo sijas gali var grozīties un neuzņemt lieci: $M_A = 0$ un $M_B = 0$.

Pie koncentrētiem spēkiem - lieces moments pieaug pēc taisnes starp spēkiem, kas atrodas blakus. Lieces momentu diagramas lūzuma punkti atrodas tikai zem koncentrētiem spēkiem, tāpēc arī maksimālais moments būs vienmēr tikai zem kāda koncentrēta reāla (ne iedomāta, kāds ir kopspēks) spēka (zīm. 39.lpp. max M ir zem spēka P_2), bet nekad nebūs starp spēkiem.

Piezīme: Lieces momentu būvmechanikā bieži vien vienkārši nosauc par momentu.

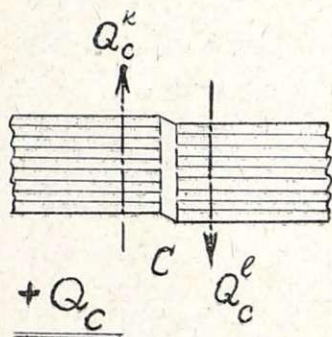
CIRPES SPĒKI

Pāršķēļot 39.lpp. parādīto siju ar iedomāto šķēlienu punktā C divās daļās, uz sijas kreiso daļu iedarbosies ārējo spēku A un P_1 kopspēks $Q_C^k = A - P_1$, kas cenšas sijas kreiso daļu bīdīt gar labo daļu, ko šinī gadījumā iedomājas esam nekustīgu.

Šo kopspēka lielumu un virzienu var dabūt arī no spēku plāna (zīm. b 39.lpp.). Kā 40.lpp. pierādīts, Q_C^k no spēkiem A un P_1 (spēki pa kreisi šķēlienam C), ir virzīts uz augšu. Iedomājot tagad kreiso sijas daļu nekustīgu, uz sijas labo daļu iedarbojas ārējo spēku B , P_2 , P_m un P_n kopspēks $Q_C^l = B - P_2 - P_m - P_n = B - \sum P$, kas cenšas labo daļu bīdīt gar kreiso daļu. Kā augstāk aprakstīts, Q_C^l no spēkiem B , P_2 , P_m un P_n (spēki

pa labi no šķēliena) ir virzīts uz leju. Kopspēks Q_c^k no spēkiem pa kreisi šķēlienam C ir vienāds ar kopspēku Q_c^l no spēkiem pa labi šķēlienam C, tikai pretēji virzīti. Šis kopspēki attēlo arī t.s. cirpes spēkus, t.i. cirpes spēks kautkāda sijas šķēlienā ir vienāds ar ārējo spēku sumu (kopspēku) vienā pusē (pa kreisi vai pa labi) šim šķēlienam. Ja ārējie spēki slīpi, tad jāņem projekcijas, kas stateniskas sijas asij (piem. pie līmeniskās sijas cirpes spēks ir slīps ārējo spēku vertikālo komponentu sumā vienā pusē šim šķēlienam).

Lai pie cirpes spēku aprēķināšanas kā no vienas, tā arī no otras puses, dabūtu vienādas zīmes (virzienu), ir konvencionēli pieņemts sekojošais: cirpes spēks no ārējiem spēkiem pa kreisi kādam šķēlienam skaitams par pozitīvu, ja ārējo spēku kopspēks ir virzīts uz augšu; un par negatīvu, ja ārējo spēku kopspēks ir virzīts uz leju. No spēkiem pa labi kādam šķēlienam cirpes spēks ir pozitīvs, ja kopspēks virzīts uz leju; un negatīvs, ja kopspēks virzīts uz augšu.



Skaitot ārējo spēku (aktīvie spēki un reakcijas) virzienu uz augšu par pozitīvu, bet uz leju par negatīvu, augšējo sakarību starp cirpes spēku un kopspēku var izteikt arī sekojoši: cirpes spēks pa kreisi no kāda šķēliena ir pozitīvs, ja arī šim šķēlienam pa kreisi esošo ārējo spēku kopspēks ir pozitīvs (t.i. virzīts uz augšu); pretējā gadījumā cirpes spēks ir negatīvs; cirpes spēks pa labi no kāda šķēliena ir pozitīvs, ja šim šķēlienam pa labi esošo ārējo spēku kopspēks ir negatīvs - (t.i.

virzīts uz leju:) un otrādi. No tā seko, ka pa kreisi no kāda šķēliena cirpes spēks ir vienāds ar attiecīgo ārējo spēku kopspēku kā pēc lieluma, tā arī pēc zīmēm (algebraiski), bet pa labi no kāda šķēliena cirpes spēks ir vienāds ar attiecīgo ārējo spēku kopspēku tikai pēc lieluma, bet zīmes ir pretējas. Kā redzams, sakarība starp cirpes spēku un attiecīgo ārējo spēku kopspēku līdzīga lieces momentu un statisko momentu sakarībai (skat. 41.lpp.). Cirpes spēki un attiecīgie ārējo spēku kopspēki atšķiras vēl ar to, ka cirpes spēks (iekšējais spēks) ir pielikts atbilstošā šķēlienā, bet ārējo spēku kopspēka pielikšanas punktu dabū no virves poligona, kā paskaidrots agrāk. Ārējo spēku kopspēka pielikšanas punkts arvien atrodas ārpus balstiem un nekad nebūs balstu starpā (var tikai sakrist ar balstu reakcijām A un B).

Tā šķēlienā C (zīm. a 39. lpp.) cirpes spēks ir pozitīvs, jo kopspēks $Q_c^k = A - P_1$ ir virzīts uz augšu, resp. ir pozitīvs (jo $A > P_1$), bet kopspēks $Q_c^l = B - P_2 - P_m - P_n$ ir virzīts uz leju, resp. ir negatīvs (jo $B < P_2 + P_m + P_n$). Šķēlienā D kopspēks no spēkiem pa kreisi šim šķēlienam ir virzīts uz leju (Q_D^k), resp. ir negatīvs, bet no spēkiem pa labi ir virzīts uz augšu (Q_D^l), resp. ir pozitīvs, tāpēc cirpes spēks šinī šķēlienā ir negatīvs.

Kā jau agrāk minēts, ārējo spēku kopspēku, arī cirpes spēku, var dabūt grafiski no spēka plāna. Tā cirpes spēka lielumu šķēlienā C dabū no spēku plāna (zīm. b 39.lpp.) starp stariem s un 2, t.i. starp tiem stariem, kas paraleli stariem s un 2 virves poligonā (zīm. c), kurus šķēļ līnija, vilkta no šķēliena C paraleli cirpes spēka virzienam spēku plānā (šinī gadījumā vertikāli). No spēku plāna (zīm. b 39.lpp.) var viegli saprast, ka cirpes spēks ir pozitīvs, ja tas atrodas virs stara s (piem. starp stariem s un 1 vai starp stariem s un 2, jo tad kreisajā daļā esošo ārējo spēku kopspēks ir virzīts uz augšu, bet labajā daļā esošo ārējo spēku kopspēks ir virzīts uz leju). Cirpes spēks ir negatīvs, ja tas atrodas zemāk par staru s (piem. starp stariem s un 3, s un 4 vai s un 5). Citādi sakot: kāmēr ordinātes starp virves poligona (zīm. c 39.lpp.) ārējām malām aug no kreisās puses uz labo pusi, cirpes spēks Q ir pozitīvs, bet ja šīs ordinātes mazinājas, tad cirpes spēks Q ir negatīvs. No pateiktā var arī secināt, ka pozitīviem cirpes spēkiem atbilstošie ārējo spēku kopspēki atrodas ārpus balstiem pa kreisi (piem. zīm. c 39.lpp. Q_c^k un Q_c^l), bet negatīviem cirpes spēkiem atbilstošie ārējo spēku kopspēki atrodas ārpus balstiem pa labi (Q_D^k un Q_D^l). No augstāk aprakstītā saprotama cirpes spēku diagramas konstrukcija (diagramas katra ordinate dod cirpes spēka lielumu noteiktā mērogā) (zīm. d 39.lpp.). Cirpes spēks šķēlienā bezgalīgi tuvu kreisajam balstam, bet pa labi no tā (t.i. lai šis griezumam piederētu jau sijai) ir vienāds ar balsta reakciju A, jo sumē-

jot spēkus pa kreisi, vienīgais ārējais spēks ir A (virves poligonā zīm. c staru s un l krustpunktā, bet spēku plānā zīm. b starp stariem s un l). Šis cirpes spēks ir pozitīvs, jo reakcija A ir virzīta uz augšu (pozitīvs). $Q_A = A$. Apskatot šķēlienu l bezgalīgi tuvu pa kreisi no P_1 , šim šķēlienam pa kreisi esošo ārējo spēku kopspēks dabujams spēku plānā starp stariem s un l , resp. virves poligonā s un l līniju krustpunktā, un tas ir balsta reakcija $A : Q_1(\text{pa kreisi}) = A = Q_A$ (pozitīvs). Apskatot šķēlienu l bezgalīgi tuvu pa labi no P_1 , šim šķēlienam pa kreisi esošo ārējo spēku kopspēks dabujams spēku plānā starp stariem s un 2 , resp. virves poligonā s un 2 līniju (malu) krustpunktā: $Q_1(\text{pa labi}) = A - P_1$. Arī šinī šķēlienā cirpes spēks ir pozitīvs (stars 2 atrodas virs s vai $A > P_1$). Tālāk tāpat šķēlienā 2 : $Q_2(\text{pa kreisi}) = A - P_1 = Q_1(\text{pa labi})$ un ir pozitīvs ($A > P_1$). $Q_2(\text{pa labi}) = A - P_1 - P_2$. Šeit cirpes spēks ir negatīvs (stars 3 atrodas zemāk no s vai $A < P_1 + P_2$), resp. cirpes spēks ir gājis šķēlienā 2 caur nul punktu. Tas arī saprotams, apskatot virves poligonu: līdz šķēlienam 2 ordinātes starp virves poligona ārējām malām aug, tāpēc cirpes spēks ir pozitīvs (kopspēki pa kreisi), bet tālāk ordinātes sāk samazināties, tāpēc cirpes spēkam jābūt negatīvam (kopspēki pa labi). Starp diviem koncentrētiem spēkiem cirpes spēka lielums paliek konstants, tāpēc cirpes spēku diagrama ir ar kāpieniem, un lūzuma punktiem zem koncentrētiem spēkiem (šķēlienos $1, 2, m$ un n). Tā atrasta visa cirpes spēku diagrama (zīm. d 39.lpp.). Ja pieņem šķēlienu bezgalīgi tuvu balstam B , bet pa kreisi no tā (lai šis šķēliens vēl piederētu sijai), tad no šī šķēliena pa labi esošo spēku kopspēks ir balstu reakcija B , kas virzīta uz augšu: \uparrow , resp. ir pozitīvs. Pēc 42. lpp. aprakstītā cirpes spēks šinī gadījumā ir vienāds pēc lieluma ar šo kopspēku, resp. balstu reakciju B , bet ir negatīvs (virzīts uz leju): $-Q_B = B$, resp. $Q_B = -B$. Īsi izsakoties, cirpes spēku diagramu (zīm. d 39.lpp.) konstruē šādi: atliek mērogā virs balsta A balstu reakciju $A = Q_A$ viņas pašas virzienā. No šī spēka gala punkta atliek nogriezni a_1 , paraleli sijas asij. No šī punkta atliek P_1 uz leju u.t.t. Nogrieznim zem balsta B jābūt līdzīgam ar balsta reakciju B , jo $Q_B = -B$ (tad pastāv līdzsvars).

Analitiski cirpes spēku Q kādā šķēlienā atrod, sumējot visus ārējos spēkus (arī balstu reakcijas) pa vienu pusi no šī šķēliena un ievērojot zīmes, kā paskaidrots 42. lpp. Pēc zīm. a 39.lpp.:

$$Q_c^k = Q_c^k = A - P_1 = A - \sum_0^x P \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{no spēkiem pa kreisi šķē-} \\ \text{lienam C} \end{array} \right.$$

$$Q_c^l = -Q_c^l = -(B - P_2 - P_m - P_n) = -(B - \sum_0^z P) = \sum_0^z P - B \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{no spēkiem pa labi šķēlie-} \\ \text{nam C.} \end{array} \right.$$

"-" zīme, jo pa labi no kāda šķēliena cirpes spēka un attiecīgo ārējo spēku kopspēka zīmes ir pretējas (skat. 42.lpp.).

Tāpat: $Q_D = Q_D^k = -Q_D^l$. $Q_A = A$ un $Q_3 = -B$.

Lieces moments ir ciešā sakarībā ar ārējo spēku kopspēku, resp. arī ar cirpes spēku. Turpmāk sekos pierādījums, ka cirpes spēks ir pirmā atvasinātā no lieces momenta ($\frac{dM}{dx} = Q$), bet maksimālais moments būs tur, kur šī pirmā atvasināta $\frac{dM}{dx} = 0$, resp. kur cirpes spēks $Q = 0$. Koncentrēto spēku gadījumā $Q \neq 0$, bet būs kāds pozitīvs vai negatīvs lielums. Tāpēc šādos gadījumos maksimālais moments būs tur, kur mainas cirpes spēka zīme. Pēc 39. lpp. momentu un cirpes spēku diagramām šāda vieta ir šķēliens 2 (zem spēka P_2).

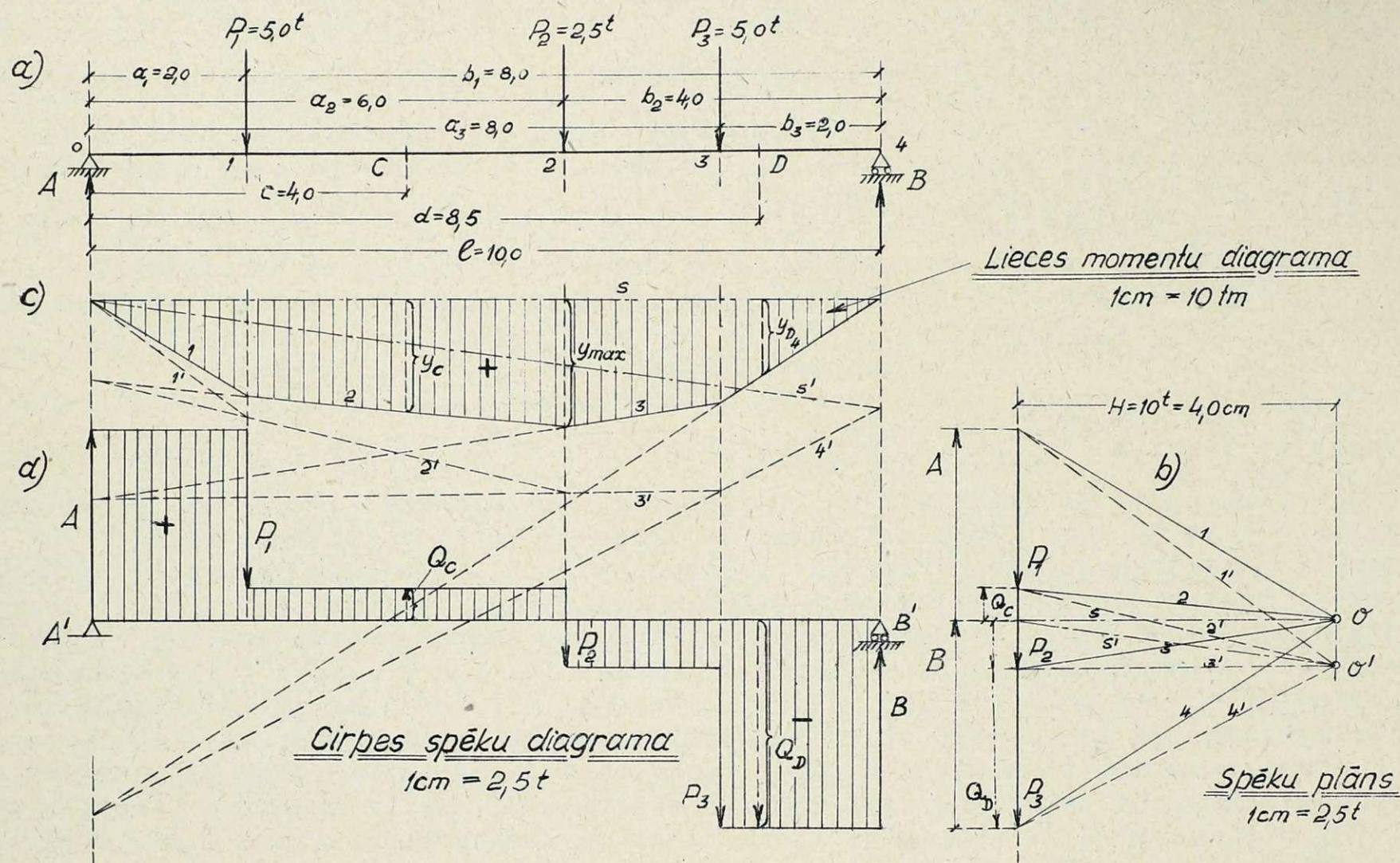
Vēl pastāv kontrole, ka līdzsvara dēļ cirpes spēku diagramas pozitīvai (+) daļai jālidzinās pēc absolūta lieluma negatīvai (-) daļai.

(Visu aprakstīto par balstu reakcijām, lieces momentiem un cirpes spēkiem nepieciešami labi iemācīties, tad viss turpmākais kļūst vieglāk saprotams).

P i e m ē r s. Dota sija AB ar $= 10,0$ m un ar slodzēm, kā parādīts zīmējumā (44.lpp.). Atrast grafiski un analītiski balstu reakcijas A un B , lieces momentus un cirpes spēkus šķēlienos C un D un uzzīmēt lieces momentu un cirpes spēku diagramas.

Vienkāršā sija

1cm = 1m (1:100)



BALSTU REAKCIJAS.

Uzzīmē spēku plānu (zīm. b) brīvi izvēlētā mērogā 1 cm = 2,5 t un ar pola atstatumu $H = 10^t = 4,0$ cm un atbilstošu virves poligonu, dabū kādu slīpu slēdzējliniju s' , kas, velkot no pola O' , sadala P_1 , P_2 un P_3 kopspēku reakcijās A un B: $A = 6,0$ t un $B = 6,5$ t (nolasot mērogā no zīm. b).

$$\text{Analitiski } \underline{A} = \frac{\sum P \cdot b}{l} = \frac{5,0 \cdot 8,0 + 2,5 \cdot 4,0 + 5,0 \cdot 2,0}{10} = \underline{6,0 \text{ t.}}$$

$$\text{No } \sum Y = 0: A + B + P_1 + P_2 + P_3 = 6,0 + B - 5,0 - 2,5 - 5,0 = 0$$

$$B = 12,5 - 6,0 = \underline{6,5 \text{ t.}}$$

LIECES MOMENTI

Slīpā slēdzējlinija ir reducēta pie līmeniskās līnijas.

Analitiski:

$$M_c = A \cdot c - P_1(c - a_1) = B \cdot (l - c) - P_2(l - c - b_2) - P_3(l - c - b_3)$$

$$M_c = 6,0 \cdot 4 - 5,0 \cdot 2,0 = 6,5 \cdot 6,0 - 2,5 \cdot 2,0 - 5,0 \cdot 4 = \underline{14,0 \text{ tm}}$$

Grafoanalitiski:

$$M_c = H \cdot y_c = 10 \cdot 1,395 = \underline{13,95 \text{ tm}} \quad (\approx \underline{14,0 \text{ tm}})$$

Analitiski:

$$M_D = B \cdot (l - d) = 6,5 \cdot 1,5 = \underline{9,75 \text{ tm}}$$

Grafoanalitiski:

$$M_D = H \cdot y_D = 10 \cdot 0,96 = \underline{9,60 \text{ tm}} \quad (\approx \underline{9,75 \text{ tm}})$$

Maksimalais moments ir zem spēka P_2 (tur arī cirpes spēks iet caur nulli). Analitiski:

$$\max M = M_2 = A \cdot a_2 - P_1 \cdot (a_2 - a_1) = 6,0 \cdot 6,0 - 5,0 \cdot 4,0 = \underline{16,0 \text{ tm}}$$

$$\text{Grafoanalitiski: } \max M = M_2 = H \cdot y_{\max} = 10 \cdot 1,6 = \underline{16,0 \text{ tm.}}$$

$$M_1 = A \cdot a_1 = 6,0 \cdot 2,0 = 12,0 \text{ tm.}$$

$$M_3 = B \cdot b_3 = 6,5 \cdot 2,0 = 13,0 \text{ tm.}$$

Zīm. c parādīto virves poligonu var uzskatīt par lieces momentu diagramu, tikai jāaprēķina atbilstošais mērogs. y ordinātes lasāmas garumu mērogā, kas ir $1 \text{ cm} = 1 \text{ m}$ (1:100), pola atstatums $H = 10^t$, no tā seko, ka momenti no virves poligona lasāmi mērogā $1 \text{ cm} = 10^t \cdot 1 \text{ m} = 10 \text{ tm}$, resp. lieces momentu diagramas mērogs ir: $1 \text{ cm} = 10 \text{ tm}$.

C I R P E S S P Ē K I .

Analitiski:
$$Q_c = \underbrace{A - \sum_0^c P}_{\text{no kreisās puses}} = \underbrace{\sum_0^c P - B}_{\text{no labās puses}} = 6,0 - 5,0 = 7,5 - 6,5 = 1,0^t.$$

Grafiski: Q_c atrodas starp stariem s un 2 un tā lielumu dabū no spēku plāna (zīm.b):

$$Q_c = 1,0^t$$

Analitiski:
$$Q_D = A - \sum_0^d P = -B = 6,0 - 12,5 = -6,5^t.$$

Grafiski: Q_D atrodas starp stariem s un 4, resp. ir vienāds ar balstu reakciju B, tikai zīme pretēja: $Q_D = -B = -6,5^t$.

Cirpes spēku diagrama uzzīmēta tanī pašā mērogā, kādā zīmēts spēku plāns, t.i. $1 \text{ cm} = 2,5 \text{ t}$. Pārējais saprotams no zīm. d (44.lpp.).

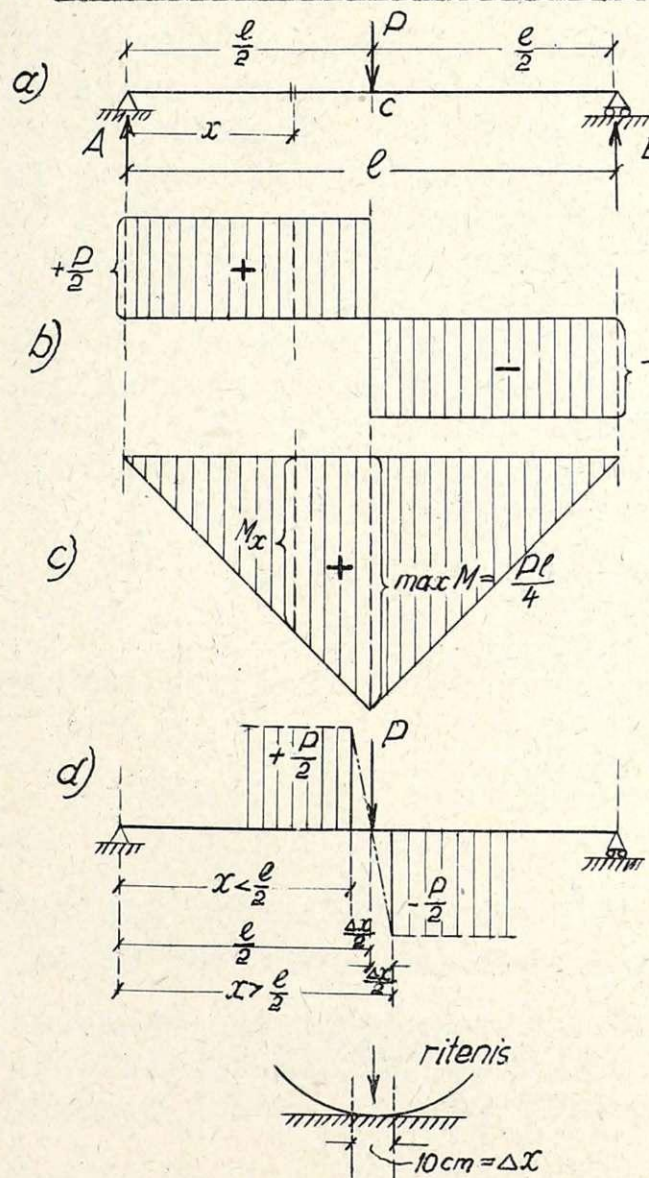
Kā minēts 43.lpp., līdzsvara dēļ cirpes spēku diagramas pozitīvai (+) daļai jālīdzinās pēc absolūta lieluma negatīvai (-) daļai.

$$\left. \begin{aligned} + F_Q &= 2,0 \cdot 2,4 + 4,0 \cdot 0,4 = 6,4 \text{ cm}^2 \\ - F_Q &= 2,0 \cdot 0,6 + 2,0 \cdot 2,6 = 6,4 \text{ cm}^2 \end{aligned} \right\} \text{abi laukumi vienādi.}$$

Šinī piemērā aprēķinu rezultāti no grafiskiem un analitiskiem paņēmieniem labi saskan. Parasti rodas atšķirības $0,5 \pm 1,0 \%$.

ATSEVIŠĶI GADIJUMI

1) Sijas vidū viens koncentrēts spēks P



Balstu reakcijas:

$$\text{no } \sum M_B = 0 : A \cdot l - P \cdot \frac{l}{2} = 0 ; A = \frac{P}{2}$$

$$\text{no } \sum M_A = 0 : B \cdot l - P \cdot \frac{l}{2} = 0 ; B = \frac{P}{2}$$

Abas balstu reakcijas ir vienādas.

Cirpes spēks kādā šķēlienā atstatumā x no balsta A:

$$Q_x = A = +\frac{P}{2}, \text{ kad } x < \frac{l}{2}$$

$$Q_x = A - P = \frac{P}{2} - P = -\frac{P}{2}, \text{ kad } x > \frac{l}{2}$$

Kā jau agrāk teikts, cirpes spēks ir konstants starp diviem koncentrētiem spēkiem, šajā gadījumā starp balstu reakcijām un spēku P. $\max Q_x$ ir visos šķēlienos, kas pa kreisi no spēka P, bet $\min Q_x$ - pa labi no spēka P. Būtu vēl jautājums, kāds cirpes spēks ir tieši zem spēka P. Tā kā dabā nav stingri koncentrētu spēku, tad spēks P izklaidēts piem. uz garumu Δx (zīm. d) un cirpes spēka diagrama pāriet nulli ar slīpu līniju (itkā bezgalīgi daudzās pakāpītēs). Patiesībā atstatumi $\frac{\Delta x}{2}$ ir bezgalīgi mazi, salīdzinot ar pārējiem samēriem, tāpēc $+\frac{P}{2}$ un $-\frac{P}{2}$ var pieņemt vienu virs otra, \perp sijas asij šķēlienā zem spēka P (zīm. b). Parasti nepēta, kāds ir cirpes spēks zem kāda spēka, bet pēta no spēka pa labi vai pa kreisi līdz bezgalīgi mazam attālumam.

Lieces moments kādā šķēlienā atstatumā x no balsta A:

2) atrod vienkāršās sijas (konsoles atmetot) lieces momentu M_s un 3) nosaka vērtību M_s .

SAKARĪBAS STARP CIRPES SPĒKIEM VIENKĀRŠAI SIJAI UN SIJAI AR KONSOLĒM.

Tādu pašu sakarību kā lieces momentiem, var atrisināt arī cirpes spēkiem. Cirpes spēku šķēlienā s dabū: 1) sijai ar konsolēm no spēku plāna starp stariem s_k un 2 (zīm. β

89.lpp.): $Q_s = A - P_1 - P_2$, 2) vienkāršai sijai (konsoles atmetas) no spēku plāna starp stariem s_v un 2: $Q_s = \alpha - P_2$. (Q_s - vienkāršās sijas cirpes spēks šķēlienā S). Pēc zīm. β:

$$Q_s = \alpha - x$$

Šo x lielumu var dabūt, izejot no līdzīgiem trijstūriem spēku plānā un virves poligonā:

$$\frac{x}{H} = \frac{?}{\ell}; \quad x = \frac{?.H}{\ell} = \frac{?}{\ell} \quad (\text{jo } H = 1). \quad \text{Bet tā ka } ? = M_B - M_A, \text{ tad } x = \frac{M_B - M_A}{\ell} \quad \text{un}$$

$$Q_s = \alpha - \frac{M_B - M_A}{\ell} \quad \dots \quad (2)$$

Šinī (2.) nol-mā ir ievērots, ka balstu momenti M_A un M_B ir negatīvi. Pie šī nolīdzinājuma lietošanas jāievieto balstu momentu M_A un M_B absolūtās vērtības.

Ja neievēro momentu M_A un M_B zīmes, tad augšminētais nol-ms būs šāds:

$$Q_s = \alpha + \frac{M_B - M_A}{\ell} \quad \dots \quad (2^a)$$

Šinī (2^a) nol-mā nav ievērotas balstu momentu zīmes. Pie lietošanas M_A un M_B vērtības jāievieto ar faktiskām zīmēm.

Jāapskata cirpes spēki sijās ar konsolēm pie balstiem A un B. Pie vienkāršās sijas šādi cirpes spēki ir vienādi ar balsta reakcijām α un \mathcal{L} , kas dabujamas spēku plānā (zīm. β 89.lpp.) starp stariem s_v un 1, resp. s_v un 4.

Sijai ar konsolēm balstu reakcijas sastādas no divām daļām: 1. daļu dod spēki pa kreisi no balsta, 2. daļu - spēki pa labi no balsta. Tā piem. $A = A_k + A_\ell$ un $B = B_k + B_\ell$. Bet $A_k = P_1 = -Q_{A(k)}$, t.i. cirpes spēks šķēlienā bezgalīgi tuvu balstam A, bet pa kreisi no tā (spēku plānā zīm. β starp stariem 0 un 1). Tāpat $A_\ell = +Q_{A(\ell)}$, t.i. cirpes spēks šķēlienā bezgalīgi tuvu balstam A, bet pa labi no tā (spēku plānā zīm. β starp stariem 1 un s_k). Analogi $B_k = -Q_{B(k)}$ un $B_\ell = +Q_{B(\ell)} = P_5 + P_6$. Seko, ka sijai ar konsolēm balsta reakciju A, resp. B var dabūt, saskaitot cirpes spēku absolūtās vērtības bezg. tuvu pa kreisi un pa labi no balsta A, resp. B. $A = |Q_{A(k)}| + |Q_{A(\ell)}|$ un $B = |Q_{B(k)}| + |Q_{B(\ell)}|$. Šī atziņa der ne tikai sijām ar konsolēm, bet arī nepārtrauktām sijām.

Salīdzinot α , resp. $Q_{A(k)}$ ar A_ℓ , resp. $Q_{A(\ell)}$, redz, ka konkrētā gadījumā $A_\ell < \alpha$ par lielumu $x = \frac{M_B - M_A}{\ell}$. Bet $B_k > \mathcal{L}$ par lielumu $x = \frac{M_B - M_A}{\ell}$. Šinī konkrētā gadījumā M_B ir absolūti ņemot lielāks par M_A . Vienmēr pie balsta, kur negatīvais moments ir absolūti lielāks, pieaug balsta reakcija un cirpes spēks. Pie otrā balsta tie paliek mazāki, jo lielāks negatīvais moments paceļ siju it kā uz augšu (atsver).

$$A_\ell = \alpha - \frac{M_B - M_A}{\ell} \quad (3) \quad \text{un} \quad B_k = \mathcal{L} + \frac{M_B - M_A}{\ell} \quad \dots \quad (4)$$

Šinis (3) nol-mos ievērots, ka balstu momenti ir negatīvi. Pie šo nol-mu lietošanas jāievieto tikai momentu M_A un M_B absolūtās vērtības.

Šos nol-mus var rakstīt, neievērojot M_A un M_B zīmes, tad viņi ir šādi:

$$A_l = \alpha + \frac{M_B - M_A}{l} \quad (3^a) \quad \text{un}$$

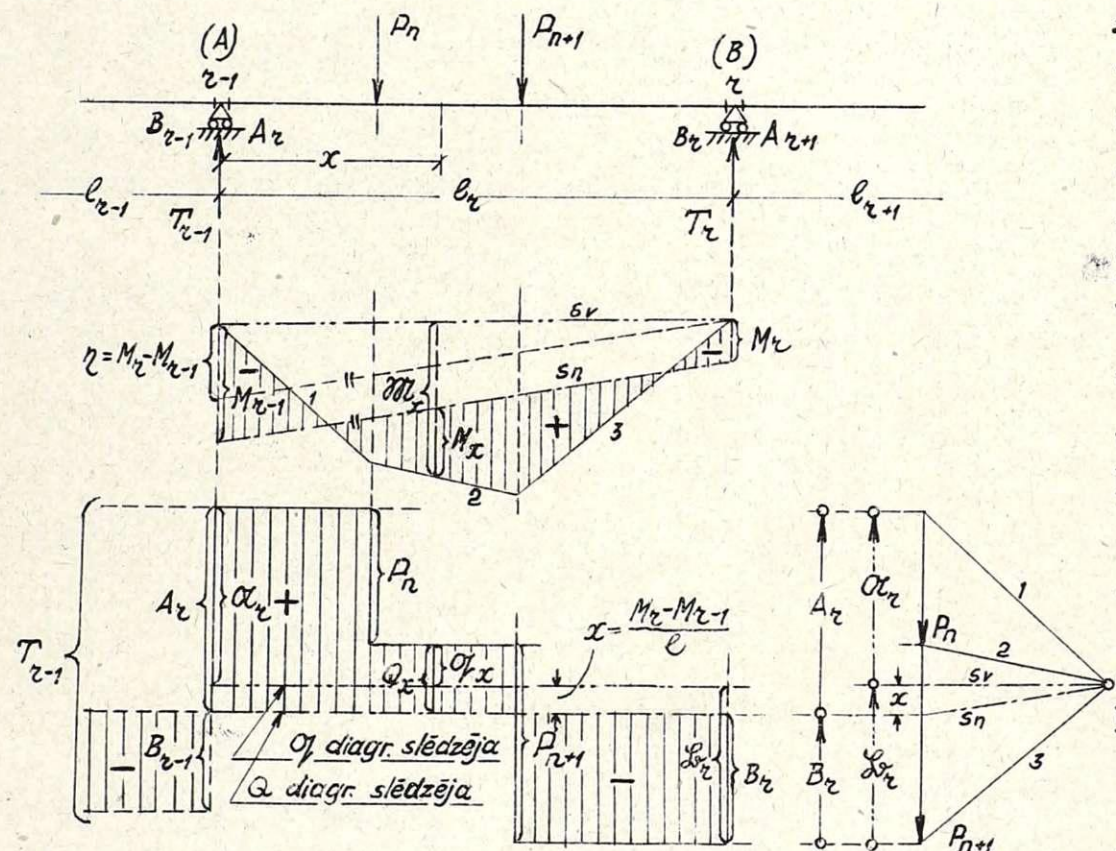
$$B_k = \mathcal{L} + \frac{M_A - M_B}{l} \quad \dots \quad (4^a)$$

Pie šo nol-mu lietošanas jāievieto balstu momentu M_A un M_B vērtības ar faktiskām zīmēm.

Ērti var kontrolēt nolīdzinājumu 2, 2^a, 3, 3^a, 4 un 4^a zīmju pareizību, pārliedzoties, vai pie lielākā negatīvā momenta (tuvāk "-∞") ir pieaugusi balsta reakcija, resp. cirpes spēks. Piem. pēc zīm. 7 (89.lpp.) $M_B > M_A$, tāpēc arī jābūt $B_k > \mathcal{L}$, resp. loceklim $\frac{M_A - M_B}{l}$ (4^a) nol-mā jābūt pozitīvam, kas tiešām tā arī ir. Ja $M_A = M_B$, tad $B_k = \mathcal{L}$ resp. $A_l = \alpha$, jo tad $\frac{M_A - M_B}{l} = 0$, resp. $\frac{M_B - M_A}{l} = 0$.

Pēc zīm. 8 (89.lpp.) redzams, ka vienkāršās sijas (konsoles atmetas) cirpes spēku (O_f) diagramma ir dabujusi pieaugumu $x = \frac{M_B - M_A}{l}$, kas ir konstants vienā laidumā, t.i.

Q diagrammas slēdzēja, attiecībā pret O_f diagrammu, pārvietota par šo korektūru uz augšu vai uz leju. Tā kā balsta moments M_B pēc absolūtās vērtības ir lielāks par M_A un tāpēc palielinājas B_k , līdz ar to arī neg. cirpes spēki. Q diagrammas slēdzēja (zīm. 8 nepārtraukta līnija) jāpaceļ uz augšu par x attālumu no O_f diagrammas slēdzēja (---) līn. Šeit nav svarīgi, vai diagrammas sastādas no taisnēm vai no līknēm. Tāpat ir vienalga, kas izsaucis balstu momentus. Tā tad augšējais iztirzājums attiecas vienādā mērā uz statistiski noteiktu (piem. konsolsija) un uz statistiski nenoteiktu (piem. nepārtrauktā sija) darinājumu.



Piemēram, dota daļa no nepārtrauktās sijas ar balstu momentiem M_{r-1} un M_r , kas attēlo blakus pārlaidumu ietekmi uz pārlaidumu l_r . Ja zinami šie balstu momentu, viegli atrodami pārējie nezināmie. Ievērojot blakus zīmējuma apzīmējumus, var rakstīt: Balsta reakcija $T_{r-1} = B_{r-1} + A_r$; tāpat $T_r = B_r + A_{r+1}$, u.t.t. Pēc 4^a un 3^a nol-miem $B_{r-1} = \mathcal{L}_{r-1} + \frac{M_{r-2} - M_{r-1}}{l_{r-1}}$, $A_r = \alpha_r + \frac{M_r - M_{r-1}}{l_r}$; $B_r = \mathcal{L}_r + \frac{M_{r-1} - M_r}{l_r}$; $A_{r+1} = \alpha_{r+1} + \frac{M_{r+1} - M_r}{l_{r+1}}$ u.t.t.

$$T_{r-1} = B_{r-1} + A_r = \left(\mathcal{L}_{r-1} + \frac{M_{r-2} - M_{r-1}}{l_{r-1}} \right) + \left(\alpha_r + \frac{M_r - M_{r-1}}{l_r} \right) \quad \text{u.t.t.}$$

(Parasti atrod atsevišķi B_{r-1} un A_r un tad saskaita. Šo vispārējo nol-mu nelieto).

Lieces moments pārlaiduma l_r kaut kādā šķēlienā, kura attālums no balsta r-1 ir x, dabujams pēc nol-ma 1^a:

$$M_x = \mathcal{M}_x + M_{r-1} \cdot \frac{(l-x)}{l} + M_r \cdot \frac{x}{l} \quad , \quad \text{kur } \mathcal{M}_x \text{ - lieces moments vienkāršai sijai.}$$

Cirpes spēks tanī pašā šķēlienā:

$$Q_x = A_r - P_n = Q_r - P_n + \frac{M_r - M_{r-1}}{l_r} = Q'_x + \frac{M_r - M_{r-1}}{l_r} \quad , \quad j^0$$

$Q'_x - P_n = Q'_x$ - cirpes spēks vienkāršai sijai (šo pašu nol-mu var dabūt pēc 2^a nol-ma)

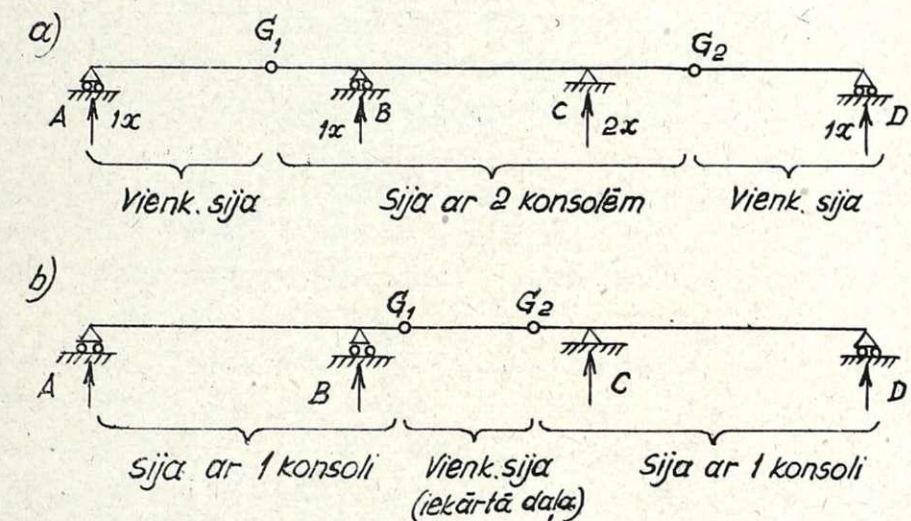
Šajos nol-mos balstu momenti ievietojami ar viņu faktiskām zīmēm. Ir arvien labāk lietot nol-mus, kur balstu momenti ievietojami ar faktiskām zīmēm, jo tad vieglāk izvairīties no kļūdām.

000 - 000

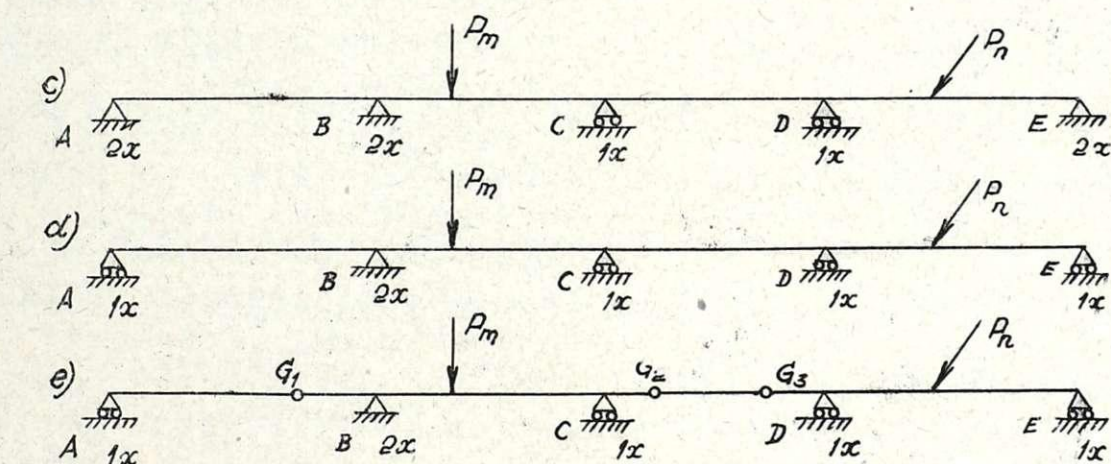
Konsolsija (Gerbera sija)

Sakombinējot divas vienkāršas sijas un siju ar konsolēm tā, ka vienkāršās sijas ar vienu galu atbalstītas grozīgi (locīklas) uz konsoles galiem, dabū statiski noteiktu siju uz 4 balstiem (zīm. a). Vienkāršās sijas viena gala balsta reakcija pielikta locīklā G_1 , resp. G_2 un darbojas uz siju ar konsolēm kā koncentrēts spēks, kas pielikts konsoles galā. Ja nebūtu locīklas G_1 un G_2 , dabūtu nepārtrauktu siju ar 5 nezinām balstu reakcijām (5 x), resp. $5 - 3 = 2$ reiz statiski nenoteikts darinājums. No tā seko, ka ievietojot nepārtrauktā sijā attiecīgi locīklas, to var pārvērst par statiski noteiktu siju. Šādu statiski noteiktu siju uz vairākiem balstiem sauc par k o n s o l s i j u jeb G e r b e r a s i j u (pēc atradēja). Zīm. a parādītās konsolsijas locīklas G_1 un G_2 varēja arī iekārtot starp balstiem B un C, kā parādīts zīm. b. Tad konsolsija sastāv no divām sijām ar konsoli un no vienkāršās sijas, kas atbalstīta abos galos uz konsolēm un ko sauc par konsolsijas i e k ā r t o daļu.

Zīm. c parādītai sijai uz 5 balstiem ir 8 nezināmie, bet statika dod 3 līdzsvara noteikumu. Šī sistema ir 5 reiz statiski nenoteikta. Lai padarītu sistemu statiski noteiktu, var II šķiras (2x) balstu vietā ielikt I šķiras balstus. Vienu balstu, piem. B, atstāj ar 2x, t.i. kas nevar pārvietoties līmeniskā virzienā (citādi sija var braukt uz priekšu), bet pārējos balstus izveido grozīgus un līmeniski pārvietojamus. Tad dabū nepārtrauktu siju ar 6 nezināmiem, resp. 3 reiz



statiski nenoteikts. Šo siju var padarīt par statiski noteiktu darinājumu, ja ievērojam šos konstruktīvus noteikumus. Sijā iekārto zinamus punktus tā, lai tie nevarētu pārnest lieces momentus tālāk, t.i. ieliek locīklas, kur lieces moments būs nulle. Zīm. e parādīti šādi punkti - locīklas (šarnieri) G_1, G_2 un G_3 . Tagad dabū 3 jaunus noteikumus:



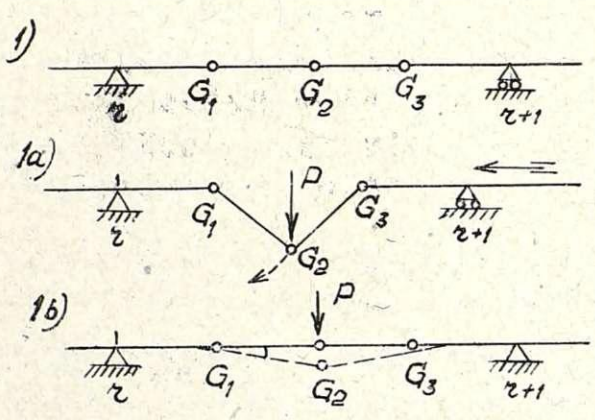
1) $M_{G_1} = 0$, 2) $M_{G_2} = 0$ un 3) $M_{G_3} = 0$, kas nav atkarīgi no līdzsvara noteikumiem, jo pastāv arī tad, ja darinājums nebūtu līdzsvarā. Līdzsvara noteikumos (ņemot $\sum M_1 = 0$, $\sum M_2 = 0$ un $\sum M_3 = 0$) ietilpst visu ārējo spēku (ieskaitot reakcijas) statisko momentu suma pret jebkuru punktu, bet šajos papildu noteikumos ietilpst lieces moments vienai si-

jas daļai. Nepārtrauktā sija zīm. d bija 3 reiz statiski nenoteikta, bet konsolsija zīm. e ir statiski noteikta, jo doti vēl 3 papildu noteikumi.

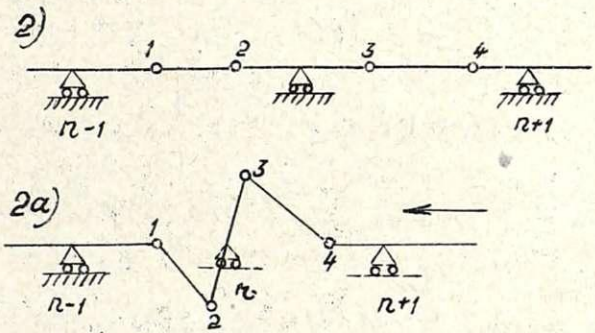
Literatūrā var atrast īpašus nol-mus, kas dod sijas nenoteiktības pakāpi un līdz ar to palīdz noteikt locīklu skaitu, kāds vajadzīgs, lai sistemu padarītu par statiski noteiktu. Bet tos lietojot var rasties pārpratumi (piem. zīm. c gadījumā tie neder), tāpēc vislabākais veids ir šādu nezināmo saskaitīšana, kā tas darīts augstāk.

Jāpiezīmē, ka locīklas nav nekad ideāli gludas, tāpēc no berzes pie pagriešanās vi-nās rodas arī neliels lieces moments, kas izsauc sija papildu piepūles. Tomēr pie aprē-ķiniem uzskata, ka locīklās nav berzes un nevar rasties lieces momenti, jo šādas papildu piepūles ievērotas drošības reizulī.

Pārveidojot nepārtrauktu siju par konsolsiju, vispār jāievieto tik daudz locīklas (kas dod konstruktīvus noteikumus), cik nezīnamu nepārtrauktai sijai. Ja tikai konsolsi-jas vienam balstam atņemta līmeniskās kustības brīvība (parasti), tad vienā pārlaidumā nedrīkst ievietot vairāk par divām locīklām un arī divos blakus pārlaidumos nevar būt ko-pā vairāk par divām locīklām, jo pretējā gadījumā rodas labila sistema.

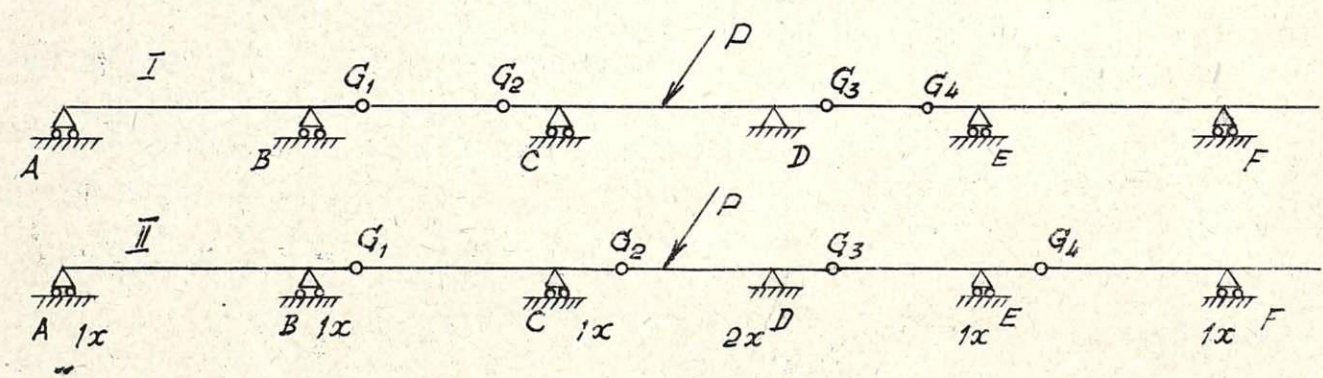


Piemēri. 1) Ja vienā pārlaidumā ir 3 locīklas un balstiem pa labi no r balsta nav atņemtas līmeniskās kustības brīvī-bas, tad sistema ir labila, kā tas arī redzams pēc zīm. 1^a. Ja līmeniskās kustības brīvības ir atņemtas diviem balstiem, katram savā pusē no pārlaiduma, kur ir ievietotas 3 locīklas, piem. r un r+1, tad gan nenotiek sabrukums kā 1^a gad-mā, bet rodas elastīgās deformācijas un sija ielieksies kā parādīts zīm. 1^b, kas nav vēlams.



2) Ja locīklas novietotas abos blakus pārlaidumos un ko-pā ir vairāk par divām locīklām, kā zīm. 2 gadījumā, tad mazs spēks var izsaukt lielu pārvietojumu (zīm. 2^a) bultiņas vir-zienā.

Konsolsijām locīklas ir konstruktīvi grūtāk izveidojamās daļas; tās maksā dārgi un ātri bojājas, sevišķi ja jāreķinā-jas ar lielām svārstībām. Pie konsolsijām jāreķinājas arī ar negatīvām balstu reakcijām (pacel balstu uz augšu), kas jā-regulē ar pašssvaru, vai balsti jāizveido tā, lai tie spētu uz-ņemt negatīvo reakciju. Locīklas ievieto tuvāk pie balstiem.



Blakus parādītā konsolsijas I schema ir vairāk derīga tiltu konstrukcijām, bet II schema - civilbūvēs, piem. jumtu konstrukcijās koptu-riem (spārturiem).

I schema izdevīgāka pie kustīgās slodzes. Ja piem kustīgā slodze iebrukta CD daļā, tad tās ietekme ne - pārnesas uz pārējām daļām. Turpretīm pie II schemas,

zem kustīgās slodzes, darbojas vienlaicīgi visa sija visā garumā, kas nav vēlams. Lai pār-liecinātos, cik tālu sniedzas slodzes ietekme pa siju, ieteicams arvien pielietot šādu kriteriju: ja, atmetot visas pārējās daļas, līdzsvars apskatamā konsolsijas daļā nodro-šināts, tad slodze nav izsaukusi spriegumus pārējās konsolsijas daļās.

Pie nekustīgās slodzes var ērti pielietot II schēmū, jo piem. kopturim šādi var panākt min. dimenzijas. Var atrast tādus konsolu BG₁, CG₂ ... garumus, lai lieces momenti virs bal-stiem un laidumos būtu vienādi, tā panākot vismazākos lieces momentu nozīmes (absoluti ņemot), resp. arī vismazāko materiala patēriņu, jo pie siju izmēru noteikšanas lieces mo-menti ir noteicošie. Šai II schēmai pie jumta kopturiem ir arī montažas priekšrocības: pie I schemas iekārtā daļa jāievieto starp divām locīklām, bet pie II schemas attiecīgās kon-solsijas daļas viens gals vienkārši novietojams pār atbalstu, samontējot to tad ar ie-priekšējās daļas galu.

Balsta reakcijas B ietekmes līniju var arī dabūt, sumējot ar absolutām vērtībām cirpes spēku ietekmes līnijas ordinātes šķēlieniem bezgalīgi tuvu pa kreisi un pa labi no balsta B (skat. Q_3 un Q_4 ietekmes līnijas zīm. 97. lpp.).

Pilnīgi analogi A un B ietekmes līnijām, var atrast balstu reakciju C un D ietekmes līnijas (skat. zīm. 97. lpp.). Balsta reakcijas E ietekmes līnija (zīm. 97. lpp.) dabūjama kā vienkāršās sijas ietekmes līnija starp balstiem G_3 un E.

Pēc atrastām balstu reakciju ietekmes līnijām redzams, ka, ja slodze darbojas starp A un G_1 , tad tā neatstāj nekādu ietekmi uz balstiem C, D un E. Tāpat, ja slodze darbojas starp G_2 un E, tad neietekmēti paliek balsti A un B. Tāpēc šādas sistēmas konsolsija ir laba kustīgām slodzēm, jo slodze pa viņu kustoties, neiespaido visu sistēmu.

Cirpes spēku ietekmes līnijas (zīm. 97. lpp.).

Cirpes spēku ietekmes līnijas viegli atvasinājamās no balstu reakciju ietekmes līnijām. Zemāk apskatītas cirpes spēku ietekmes līnijas raksturīgākos šķēlienos.

$Q_1 = Q_A(\text{pa labi})$ ietekmes līnija.

Šķēliena 1 ietekmes līnija ir vienāda ar balsta reakcijas A ietekmes līniju, jo tas ir bezgalīgi tuvs šķēliens pa labi no balsta A.

Q_2 ietekmes līnija.

Ja spēks pārvietojas starp A un B, tad cirpes spēka ietekmes līnija šķēlienam 2 sastādas kā vienkāršai sijai no reakciju + A un - B ietekmes līnijām. Balsta reakcijas -B ietekmes līnija der no balsta A līdz šķēlienam 2, bet tālāk der balsta reakcijas A ietekmes līnija.

$Q_3 = Q_B(\text{pa kreisi})$ ietekmes līnija.

Šķēliens 3 ņemts bezgala tuvu pa kreisi no balsta B. Ja spēks pa kreisi no šī šķēliena, tad cirpes spēka ietekmes līnija sakrīt ar balsta reakcijas -B ietekmes līniju. Ja spēks pa labi no šķēliena, ietekmes līnija sakrīt ar A ietekmes līnijas negatīvo daļu.

$Q_4 = Q_B(\text{pa labi})$ ietekmes līnija.

Šķēliens 4 ņemts konsolē, bezgala tuvu pa labi no balsta B. Ja spēks pa kreisi no šķēliena, cirpes spēks = 0. Ja spēks pa labi no šķēliena, cirpes spēks ir konstants līdz G_1 :

$Q_4 = P = + 1^t$. To dabū, sumējot visus spēkus pa labi no šī šķēliena. Ja spēks $P = 1^t$ uz G_1 , tad $Q_4 = + 1^t$, ja $P = 1^t$ uz G_2 , tad $Q_4 = 0$.

Q_5 ietekmes līnija.

Šķēliens 5 ņemts konsolē starp B un G_1 . Ja spēks $P = 1^t$ pa labi no šķēliena, cirpes spēks ir konstants līdz locīklai G_1 : $Q_5 = P = + 1^t$. Ja $P = 1^t$ uz G_2 , tad $Q_5 = 0$.

Cirpes spēki Q_4 un Q_5 ir pozitīvi, jo kopspēka virziens pa labi no šķēliena ir uz leju, kas dod pozitīvu cirpes spēku. Ja slodze starp G_1 un G_2 , tad tā spiež uz G_1 un G_2 , resp. sadalās divos spēkos, no kuriem tikai locīklas G_1 spiediens pārnesas uz balstiem B un A. Locīklas spiediens G_1 ir proporcionāls spēka $P = 1^t$ attālumam no G_2 , tāpēc Q_4 un Q_5 ietekmes līnijas krīt uz G_2 pusi un pie $G_2 = 0$, jo tur beidzas $P = 1^t$ ietekme uz kreiso daļu.

Balstu reakcijas B ietekmes līniju var dabūt no cirpes spēkiem pēc sakarības: $B =$

$$= \left| Q_{B(\text{pa kreisi})} \right| + \left| Q_{B(\text{pa labi})} \right|$$

Q_6 ietekmes līnija.

Šķēliens 6 ir ņemts iekārtā daļā, kas darbojas kā vienkārša sija, kas atbalstīta locīklu vietās, tāpēc Q_6 atrašana jau pazīstama.

Šķēlienos starp G_2 un C cirpes spēku ietekmes līnijas ir līdzīgas tādām šķēlienos B un G_1 (konsole).

Q_7 ietekmes līnija.

Šķēliens 7 ņemts starp C un D. Ja $P = l^t$ darbojas starp C un D, tad cirpes spēka ietekmes līnija ir kā vienkāršai sijai, jo šinī gadījumā sija starp locīklām G_2 un G_3 ir vienkāršā sija ar 2 konsolēm. Ja $P = l^t$ darbojas uz konsolēm, tad šāds gadījums pielīdzinams gadījumam, kad Q_2 cirpes spēka ietekmes līnijas atrašanai $P = l^t$ darbojas starp B un G_2 .

Lieces momentu ietekmes līnijas

M_m ietekmes līnija

Šķēliens m ņemts starp A un B. Jau iepriekš var pateikt, ka M_m ietekmes līnija pa labi no šķēliena m ir balsta reakcijas A ietekmes līnija, reizināta ar c_1 (šķēliena attālum). Ja $P = l^t$ pārvietojas starp B un m, tad $M_m = A \cdot c_1 = + \frac{l^t \cdot x'}{l_1} \cdot c_1$

Pie $x' = 0$, $M_m = 0$ un pie $x' = l_1$, $M_m = + l^t \cdot c_1$ (reals tikai līdz šķēlienam m).

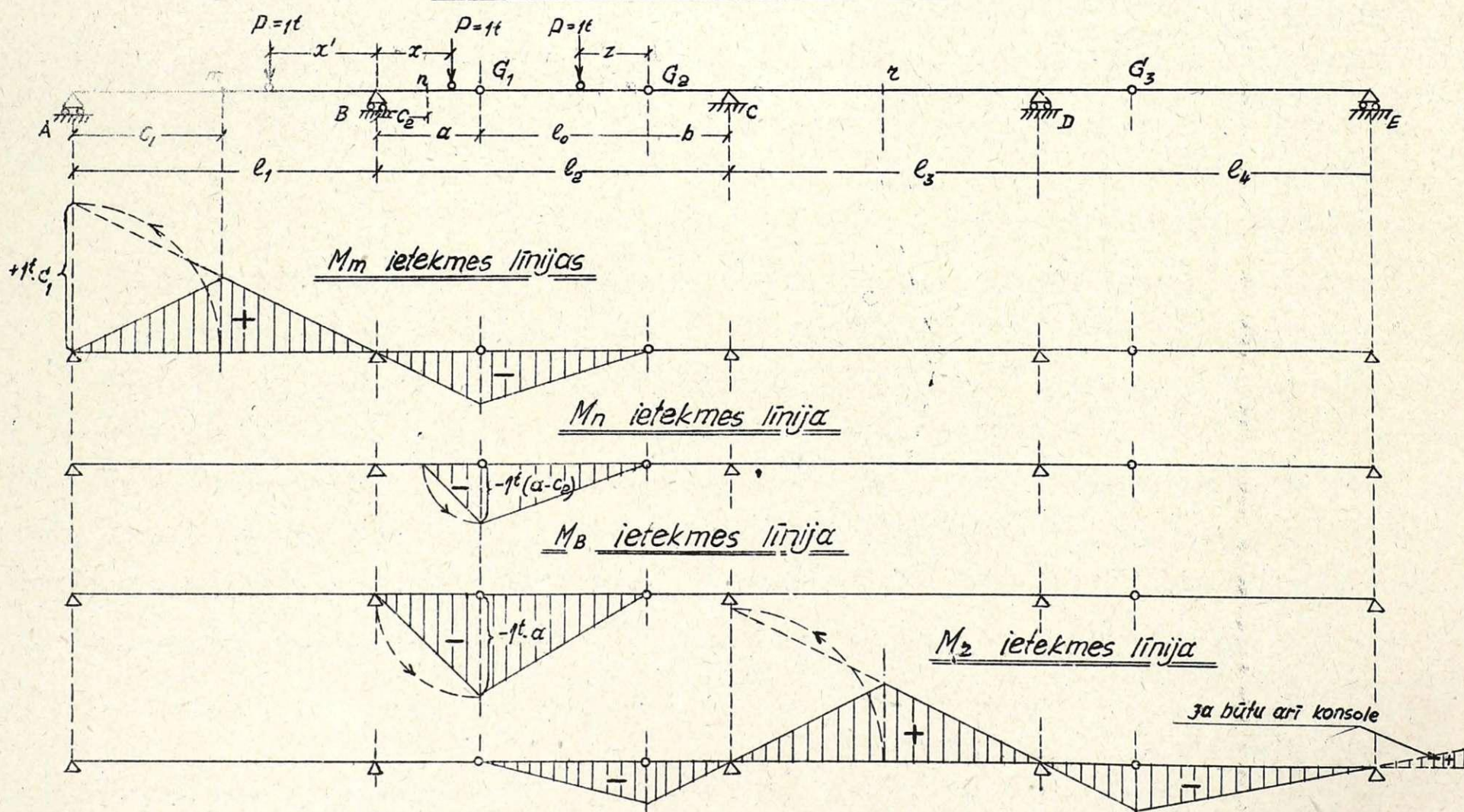
Ja $P = l^t$ pārvietojas starp B un G_1 , tad no statiskā momenta pret B dabū:

$$A \cdot l_1 + l^t \cdot x = 0, \quad A = - \frac{l^t \cdot x}{l_1}, \quad M_m = - A \cdot c_1 = - \frac{l^t \cdot x}{l_1} \cdot c_1 \quad \text{Pie } x = 0, \quad M_m = 0 \quad \text{un}$$

$$\text{pie } x = a, \quad M_m = - \frac{l^t \cdot a}{l_1} \cdot c_1 \quad \dots (\alpha)$$

Tāpat kā pie A ietekmes līnijas (96.lpp.), arī M_m ietekmes līnija starp B un G_1 ir iepriekšējās ietekmes līnijas turpinājums.

Lieces momentu ietekmes līnijas



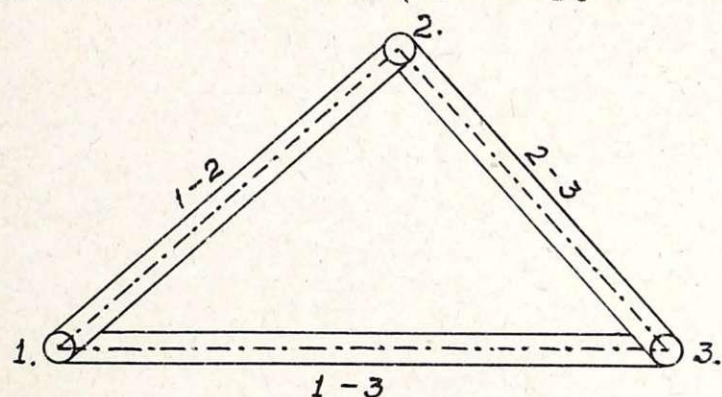
MĀCĪBA PAR KOPNĒM

levads

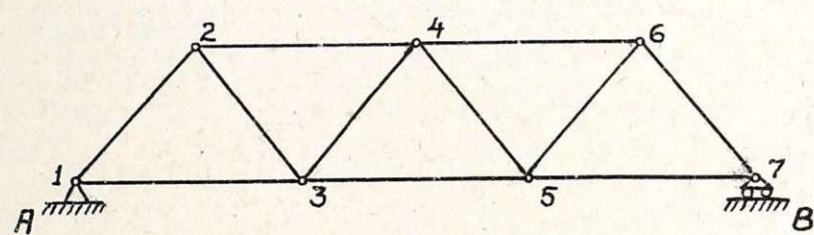
Kopņu projekta svarīgākā sastāvdaļa ir stieņu izturības aplēse. Stieņi parasti ir taisni, padoti tikai ass spēkiem, kādēļ tiem jābūt savienotiem ar locīklām. Pieņem, ka katrs stienis var brīvi grozīties ap savu locīklu - citas kustības brīvības nav. Pāzīstams tāds kopņu izveidojums, kur katrā mezglu punktā ir tikai viena bulta, ap kuru brīvi grozās stieņi (Amerikā). Šādas montažas ir ātrāk izvedamas kā mezglu sakniedēšana, bet konstrukcija iznāk daudz smagāka un šādus savienojumus Eiropā nemēdz lietot. Eiropā lieto sakniedētus vai liedētus mezglus, kurus teoretiski pielīdzina ideālajam mezglu izveidojumam ar locīklām.

Ja bez ass spēkiem ievēd vēl M un Q , kā papildu piepūlījumus (pretestība pret griešanos, ko izsauc berze locīklās), tad konstrukcija kļūst statistiski nenoteikta. Šiem spēkiem ir jāpiešķir nozīme, bet tomēr ne pārāk liela. To lielumu parasti nosaka empiriskām formulām. Turpmāk pieņemts, ka locīklās berzes nav. Tālāk pieņems, ka stienis nemaina savu veidu (nestiepjās u.t.t.) un nemaina savu novietojumu. Tādu stieni tad var apzīmēt par nemainīgu disku. Ja ir kāds mezglu punkts 3., tad to var pievienot pie nemainīga diska 1-2 ar nemainīgiem diskiem 2-3 un 1-3, pie tam nemainīgi, t.i. ar dotā garuma nemainīgiem diskiem var pievienot tikai vienu punktu (3.) un tāpēc šis savienojums ir vienlīgais un negrozamais.

Teiktais nav pierādījums, bet tikai paskaidrojums.



Teiktais nav pierādījums, bet tikai paskaidrojums.

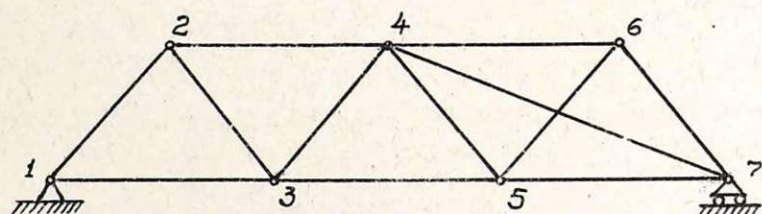


$s = 11, k = 7$; kopne stabila.

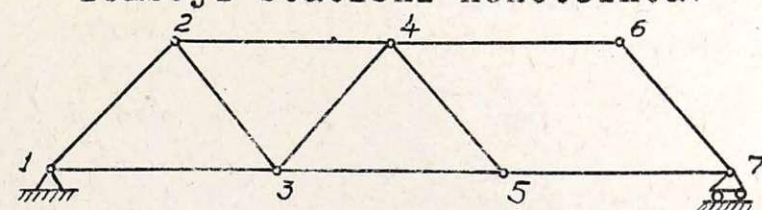
Kopnes parasti veidojas no trīsstūriem. 3 stieņi dod trīsstūri ar 3 mezgliem, nākošais trīsstūris prasa 2 stieņus ar 1 jaunu mezglu. Tā tad, ja k - mezglu skaits un s - stieņu skaits, tad

$$s = 3 + 2(k-3) = 3 + 2k - 6 = 2k - 3$$

Ja šis noteikums izpildīts, tad kopne ir nemainīga un stabila (geom.). Rasējumā $s = 11 = 2 \cdot 7 - 3$ - stieņu, kopne stabila. Bet var būt gadījumi, kad $s \neq 2k - 3$ un tomēr kopne stabila. Var būt $s > 2k - 3$. Ja $s > 2k - 3$, tad kautkur jauns mezgls pievienots pie pastāvošā diska ne ar diviem, bet vairāk stieņiem - tomēr stabilitāte nemainās. Ja $s < 2k - 3$, tad visa kopne, vai daļa no tās ir labila. Arī šinī gadījumā var panākt stabilitāti, neatbalstot to kā vienkāršu siju.



$s = 12, k = 7$; kopne stabila, bet iekšēji statistiski nenoteikta.



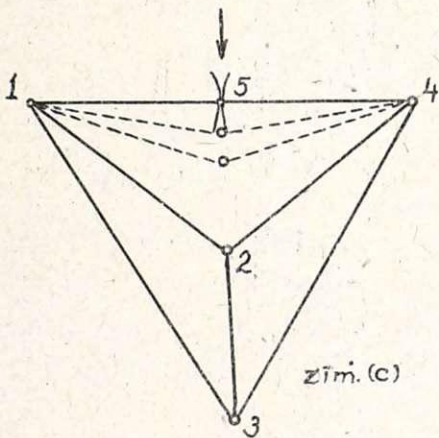
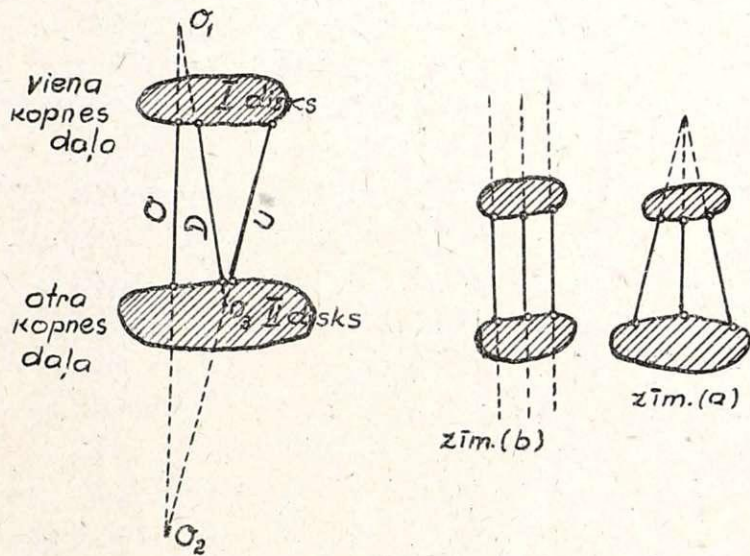
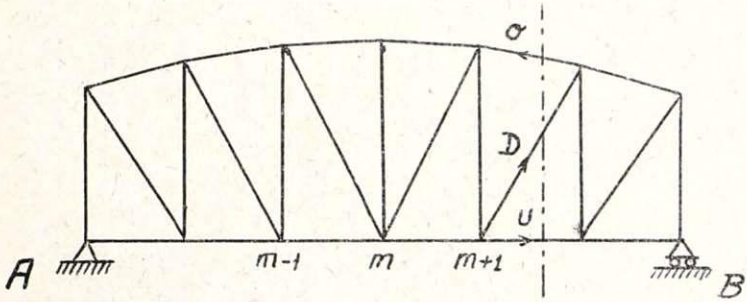
$s = 10, k = 7$; kopne labila.

Nolīdzinājums $s = 2k - 3$ attiecas stabilitātes ziņā tikai uz to kopni,

kura atbalstīta kā vienkārša sijā.

Pēdēja laikā mēģināts kopnes aprēķināt ar jauniem paņēmieniem - klasiskās teorijas vietā. Vai nebūvē kopnes pārāk smagas? Vai drīkst atņemt papildu spriegumus?

Pusparaboliska ferma.



Vai stieņi savienoti mainīgi?
 $s = 25$; $k = 14$; $s = 2 \cdot 14 - 3 = 25$; stabila.

Stieņi, kas savieno diskus I un II, nedrīkst krustoties vienā punktā. Zīm.(a). Tad bezgalīgi mazas kustības izsauc bezgalīgus spēkus, ko materials neiztur un kopne sabrūk.

Arī tas gadījums, kad stieņi O, D, U ir paralēli, t.i. krustojas bezgalīgi tālā punktā zīm.(b), nav lietojams, jo tad kustības ir bezgalīgi lielas. Šie divi nosacījumi ir papildu noteikumi pie sakarības: $s = 2k - 3$.



Iespējams vēl viens, nākošā rasējumā attēlots, gadījums, kur

$s = 7$; $k = 5$; $s = 2 \cdot 5 - 3 = 7$; kopne itkā stabila, bet tomēr tā nav statiski noteikta. Punkts 5. var pārvietoties pa aplocēm, kas vilktas no centra 1 un arī 4. Šīs divas aploces pieskaras un pieskaršanās punktā rasti 2 sakrītoši punkti; šinī gadījumā tad iespējamas bezgalīgi mazas kustības. Ja bultiņas virzienā iedarbojas ārējs spēks, tad tas attīsta stieņos 1-5 un 5-4 bezgalīgi lielas reakcijas. Stieņi vai nu sabrūk, vai sakustas (punktētais stāvoklis); reakcijas pie slīpa stāvokļa samazinājas; šāda kustība turpinās, līdz kāmēr kopne vai nu sabrūk, vai tiktāu maina savu veidu, līdz iestājas līdzsvaru stāvoklis. Būs rasts jauns kopnes veids, kas atšķirsies no sākumā pieņemtā.

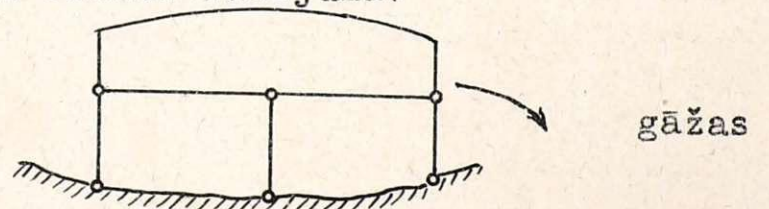
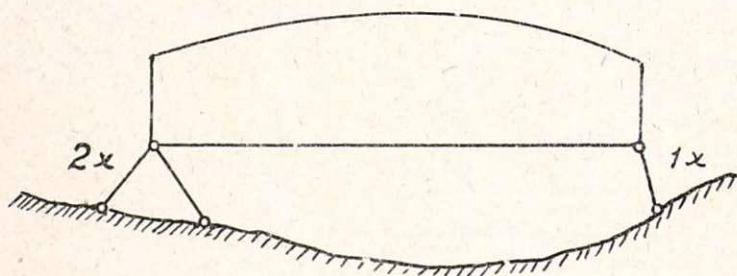
Seko:

divu disku savienošanu ar trim stieņiem skaita par geometriski nemainīgu tad, ja minēti 3 stieņi nekrustojas vienā punktā vai arī nav savstarpīgi paraleli (krustojums bezgalīgi tālā punktā). Tāpat nedrīkst būt zīm.(c) gadījums.

Balstīšana.

Kopnes jāatbalsta. Reakcijas jāuzskata kā ārējus spēkus, pieliktus balstu mezglu punktos. Atbalstu reakcijas (no atbalsta veida atkarīgas) simbolizē ar $2x$ () un $1x$ () , t.i. atbalsta reakcijas atvieto ar tik daudz stieņiem, cik šī reakcija satur nezināmo lielumu, un tā tad nekustīgais balsts ar diviem, bet kustīgais ar vienu. Līdzsvars pastāv, kad spēks ir vienā taisnē ar reakciju, tāpēc šo simbolizāciju labāk izdarīt citādi, dodot katrai nezināmai reakcijai vienu stieni. Tas labāk ilustrē stabilitāti.

Nestabilā konstrukcijā viegli saskatāma kustības iespēja, kā tas rādīts rasējumā.



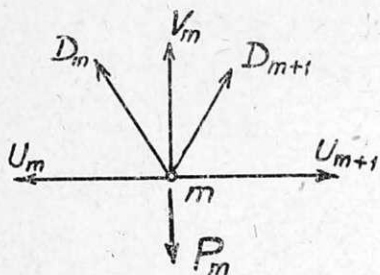
Ārējus spēkus parasti pieliek mezglu punktos. Katram stienim jāuziet spēku lielums (virziens zinams, jo spēku virzienam jāsakrīt ar stieņu virzienu).

Tā tad: s - nezinamo spēku skaits stieņos; k - mezglu skaits.

Šķērssiņu spiedienus (P_m) pārnes uz kopnes apakšējās vai augšējās joslas mezglu punktiem.

m -tais mezglu punkts.

(no zīm. 2. lpp.)



Apskatot mezglu, parāda spēkus, kas iedarbojas no stieņiem uz mezglu, t.i. stieņu reakcijas. Pozitīvie spēki darbojas no mezgla, tie mezglu stiepj.

Visi spēki darbojas plāknē un pielikti vienā punktā. Katram mezglam jābūt par sevi līdzsvarā. Tā kā spēki krustojas vienā punktā, tad $M = 0$, un līdzsvara gadījumā paliek divi līdzsvara noteikumi $\sum X = 0$, $\sum Y = 0$.

Katrs kopnes mezgls dod 2 līdzsvara noteikumus, visai kopnei var uzstādīt $2k$ līdzsvara noteikumus. Nezinamo ārējo spēku skaits vienāds ar balstu reakciju skaitu. Nezinamo skaits: $s + 3$, kur s - nezinamo spēku skaits stieņos un 3 - nezinamo balstreakciju skaits. Tam pretim $2k$ nol. No tā izriet $2k - 3 = s$, līdzsvara noteikumu skaits = nezinamu skaitam; tas ir stabilas kopnes pazīme. Tā tad geometriskā nemainīguma noteikumi sakrīt ar statiskās noteiktības noteikumiem.

Ja noteikums $2k - 3 = s$ ir izpildīts visā parastā kopnē un arī tās daļās, tad kopne ir **stabila** un arī **statiski noteikta**. Ja $2k - 3 > s$, tad kopne **labila** un līdzsvars nav nemaz iespējams. Ja $2k - 3 < s$, tad kopne ir **stabila**, bet **iekšēji statiski nenoteikta**, ir lieki stieņi. Šādu kopni vairs nevar aprēķināt ar parastiem līdzsvara noteikumiem. Var noskaidrot, cik reizes kopne statiski nenoteikta.

Formulā $2k - 3 = s$ "3" vietā var stāvēt arī cits skaitlis (4, 5), - tas atkarājas no balstišanas veida. Apskatāmie gadījumi piemēroti kopnēm, kuras balstītas kā vienkāršas sijas ar 2x un 1x balstu reakcijām (3 nezin.).

Var apskatīt kopni pa daļām un prasīt, kādiem jābūt noteikumiem, lai paliekošā daļa būtu līdzsvarā. Trūkstošo daļu atvieto ar stieņu iekšējiem spēkiem, kurus uzskata it kā par ārējiem spēkiem. Tādā gadījumā līdzsvars paliek spēkā. Šis ir mākslīgs paņēmieni (piemēram spēki 0, D un U). Pie aprēķināšanas vispirms noteic balsta reakcijas un tad, zinot tās, var noteikt spēkus 0, D, U. Šos spēkus uzskata par ārējiem spēkiem, kas iedarbojas uz disku "I" un viņu lielumu aprēķina iz 3 līdzsvara noteikumiem ($\sum X = 0$,

$\sum Y = 0$, $\sum M = 0$). Tā vienā paņēmienā viegli pēc būtības nosaka 3 iekš. spēkus 0, D un U.

Stieņos darbojas stiepe vai spiede. Lieces mom. un cirpes spēki stieņos nedarbojas, saskaņā ar pieņēmumu, ka tie savienoti ar locīklām un ka tās darbojas ideāli.

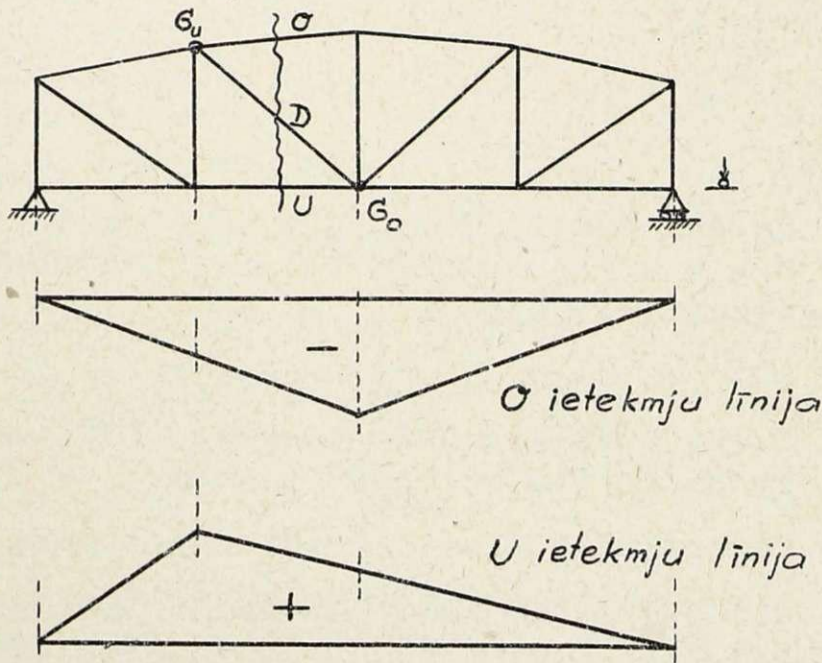
Spēku aprēķināšana stieņos

Ir vairāki spēku aprēķināšanas paņēmieni. Turpmāk apskatīti 1) Cremona, 2) Culmāņa, 3) Aug. Rittera u.c. paņēmieni.

Cremona paņēmieni

Cremona paņēmieni, kas ir grafisks un analītisks, lieto civilbūvniecībā, kur slodze nemainīga. To var lietot arī kā palīgkonstrukciju inženierbūvēs. Kopni sāk apskatīt no viena balsta, jo tur ir tikai divi stieņi un būs 2 nolīdzinājumi (momenta nebūs!); pakāpeniski pāriet no viena mezgla uz otru, līdz nonāk pie otrā balsta. Nedrīkst nevienam stienim izlaist. Klūda, kura radusies, zīmējot Cremona planu, sākumā maza, paliek arvien lielāka, jo klūda arvien sumējas. Tādēļ Cremona plānu ieteicams sākt zīmēt no abiem kopnes galiem un iet uz vidu, tad klūda iznāk uz pusi mazāka.

Cremona paņēmieni lieto dažreiz kā pa-



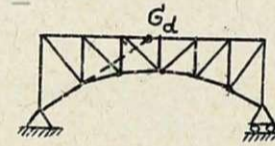
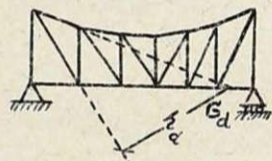
slodzēšana. Tas tāpēc, ka ietekmju līniju trīsstūru virsotnes ir zem attiecīgiem Rittera punktiem un tāpēc papildu taisnes sakrīt ar attiecīgām trīsstūru malām.

Visas ietekmju līnijas ieteicams zīmēt vienā mērogā. Krievu literatūrā ir grafiskās metodes ietekmju līniju meklēšanai, bet tās nav ērtas, jo mērogi dažādi.

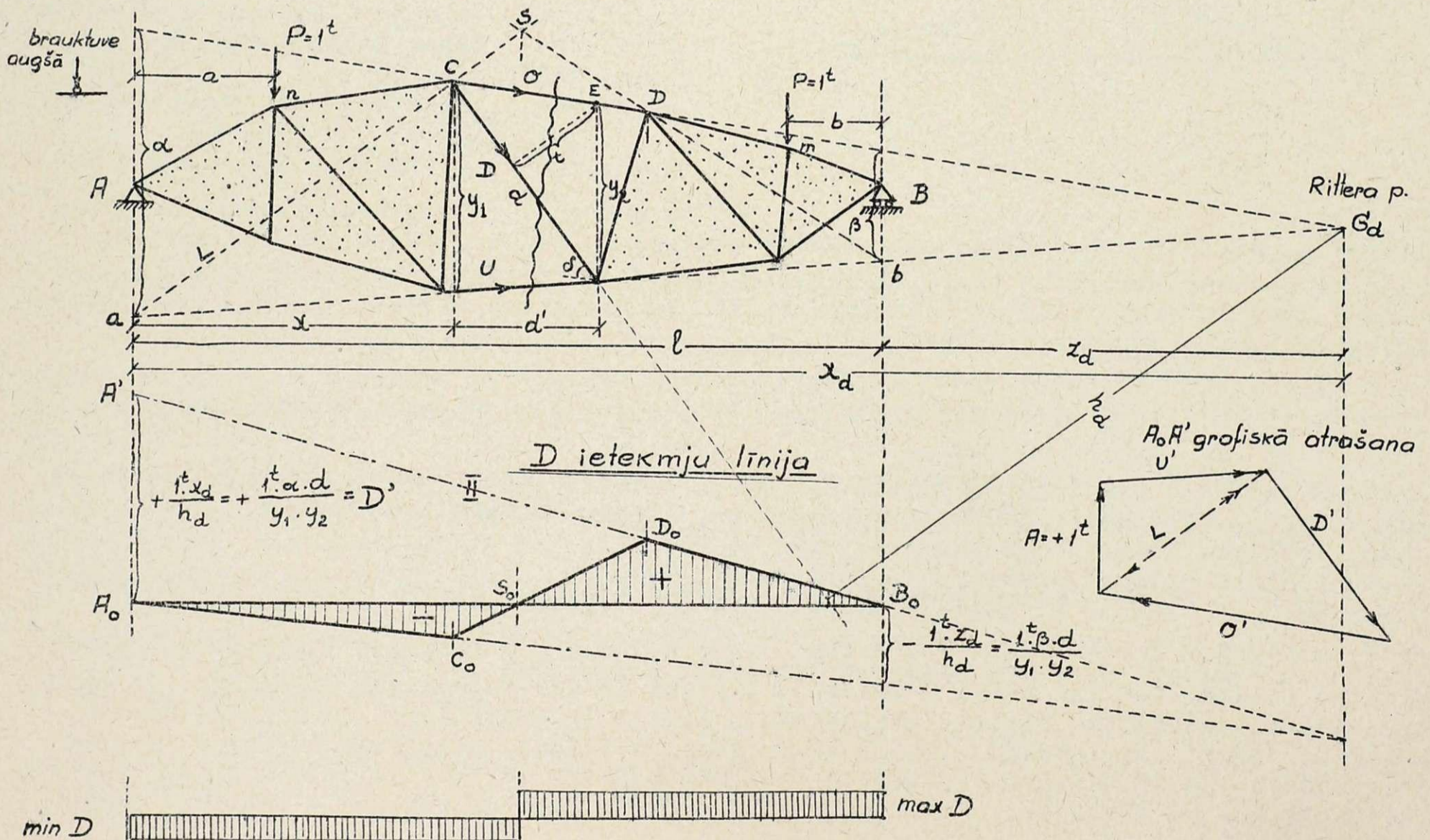
4) D ietekmju līnija.

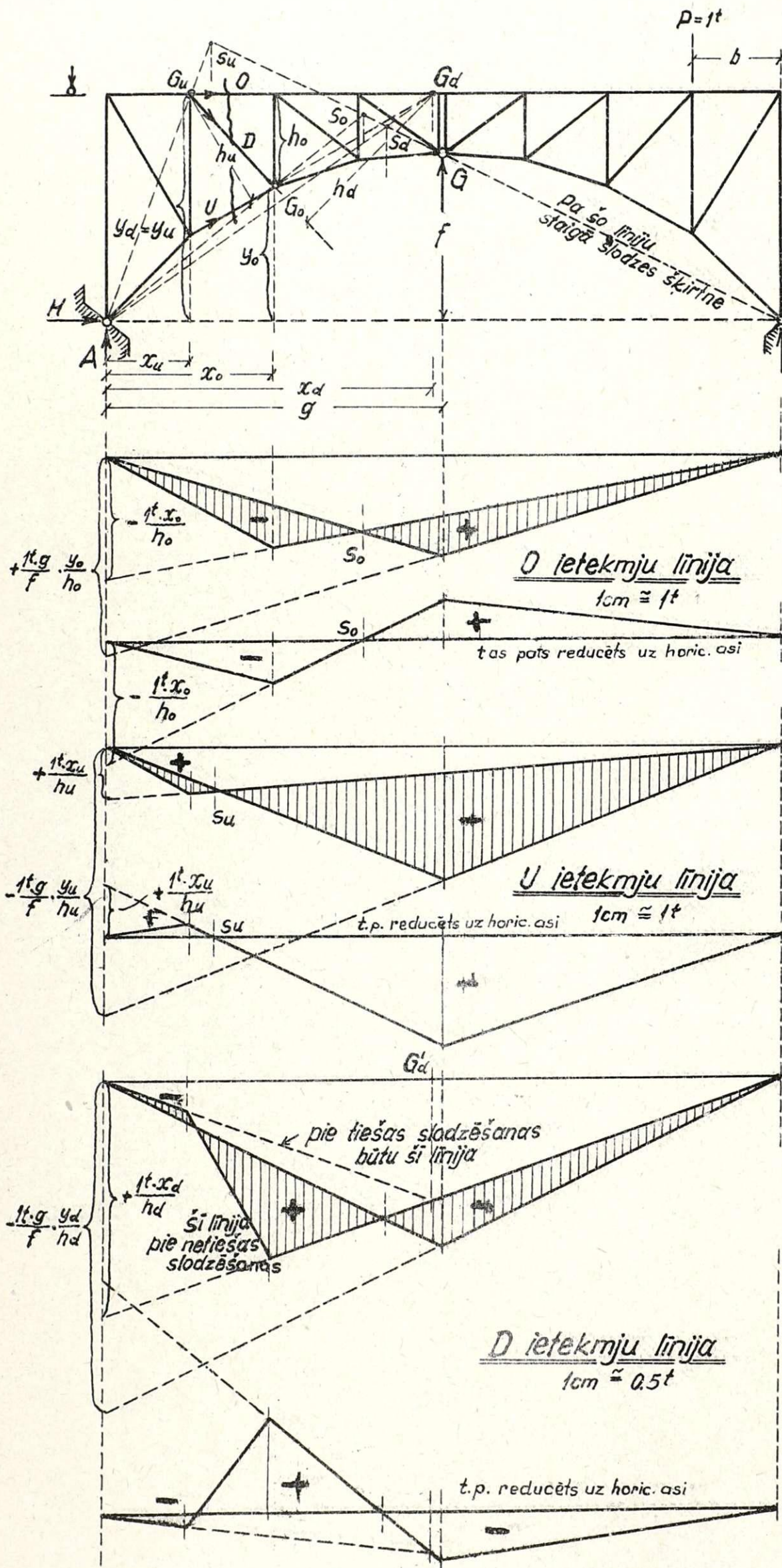
Diagonālēs un vertikālēs ietekmju līnijas atrodamas citādi. Principiēli starp vertikālēm un diagonālēm nekādas starpības nav.

Vispirms jāuzmeklē Rittera punkts, kurš parasti atrodas ārpus balstiem A-B (izņemot gadījumus, kad augšējā josla ir ieliekta vai arī kad apakšējā josla ir izliekta. Šinīs gadījumos:



diagonāle ir vai nu tikai spiesta vai stiepta).





O - ietekmju linija sastādās no divām ietekmju liniām: viena ir

- $\frac{\partial M_0}{h_0}$, t.i. vienkāršas kopnes O - ietekmju linija; otra daļa ir trīslocīklu loka H - ietekmju linija, reducēta ar y_0/h_0 . Lai dabūtu to, atliek vidū:

$$\frac{1^t \cdot g \cdot y_0}{2 \cdot f \cdot h_0} \quad (\text{kad } g = \frac{l}{2}, \text{ tad } \frac{1^t \cdot l \cdot y_0}{4 \cdot f \cdot h_0})$$

Kontrole ar slodzes šķirtni. Slodzes šķirtnes punktu dabon šādi: ja slodzēta kreisā loka daļa, K_B (komp. H un B) reakcija iet caur G ; meklē tādu slodzes novietojumu loka kreisā pusē, lai M punktā G_0 būtu nulle. Tādā gadījumā balsta reakcijai K_A (komp. H un A) jābūt plecs = 0, reakcijai jāiet caur G_0 - tā gūst AG_0 un BG_0 krustojšanās punktā slodzes šķirtni S_0 . O-spēki trīslocīklu kopnēs atšķiras no vienkāršas kopnes O-spēkiem. Trīslocīklu kopnē O-stieņos var būt spiede un stiepe. Ar mainīgu slodzi jāslodzē 3/5 vai 2/5 (t.i. kad locīkļa G atrodas vidū starp A un B) lai dabūtu max vai min O. O-ietekmju linijas (-) un (+) laukumi ir apm. vienādi, tādēļ, ja apakšējā josla veidota pēc parabolas, augšējās stieņos spēki nedarbojas.

Ja G_0 nav uz vienas vertikālas līnijas ar stieņa O viena gala punktu, tad ietekmju liniā nāk nogriezumus ne-tiešā slodzējuma dēļ.

U - i e t e k m j u l i n i j a .

$$U = + \frac{M_u}{h_u} = + \frac{\partial M_u - H \cdot y_u}{h_u} = \frac{\partial M_u}{h_u} - \frac{H \cdot y_u}{h_u}$$

Tāds pats raksturs un konstrukcija kā O-spēkiem. Arī tur atrod slodzes šķirtni. U - gandrīz viss spiests, stieptā daļa atkarājas no x_u .

Ja slodze ir labajā pusē no slodzes šķirtnes S_u , tad apakšējā josla ir spiesta, ja kreisajā, tad stiepta. Slodzes šķirtni S_u atrod BG un AG_u krustojumā. Ja slodzes šķirtni iznāk pa kreisi no G_u , tad visa U ietekmju linija negatīva. Apakšējā josla būs parasti vienmēr spiesta, jo pozitīvā daļa ļoti maza! (Kopspēks dod (-)).

Stieņiem vidus tuvumā visiem ir lielāka pozitīvā daļa.

D - i e t e k m j u l i n i j a .
Visu ārējo slodžu statisko momentu

suma pret $G_d = 0$:

$$A \cdot x_d - H \cdot y_d - D \cdot h_d = 0; \quad D = \frac{A \cdot x_d}{h_d} - \frac{H \cdot y_d}{h_d} = \frac{M_d}{h_d} - \frac{H \cdot y_d}{h_d}; \quad A = \frac{l^t \cdot b}{l}$$

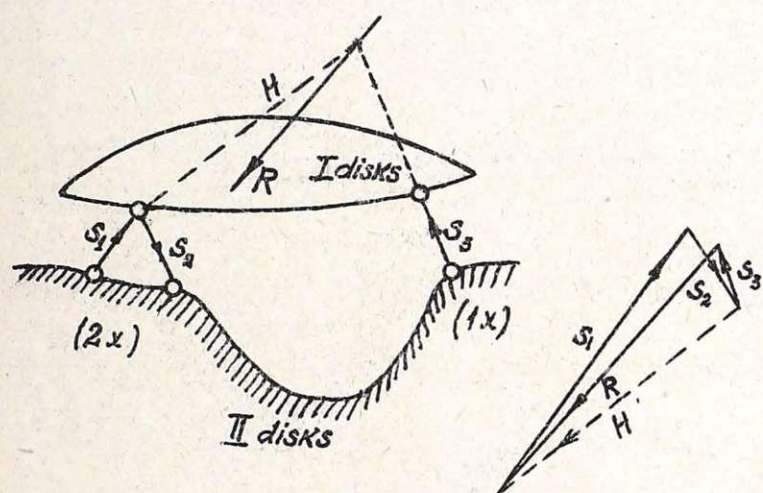
$$D = \frac{l^t \cdot b \cdot x_d}{l \cdot h_d} - \frac{H \cdot y_d}{h_d} \quad \text{ja } b = l, \quad \text{tad } D = + \frac{l^t \cdot \lambda \cdot x_d}{l \cdot h_d} - \frac{l^t \cdot g \cdot y_d}{f \cdot h_d}$$

Te reālā slodzes šķirtne, var gadīties, ka "-" laukums pa labi no G izzūd, tas būs tad, ja slodzes šķirtne S sakrīt ar G vertikāli vai arī atrodas pa labi no G - imaginārā slodzes šķirtne. Tas atkarājas arī no f un l .

Ja Rittera punkts G_d atrodas ārpus balstiem A un B , tad $A \cdot x_d = M_d$ ir līdzība ar cirpes spēku - var būt pozitīvs un negatīvs. Līdzīgi atrodam V ($G_v = G_d$) ietekmju līnijas. Parasti konstruē tā, ka pašvaru uzņem tikai viens elements, piem. U josla, bet pārējie O , V un D noder zināmā stiprināšanai, arī pret horizontāliem spēkiem un vispārī darbojas tad, kad slodze pārklāj daļu no kopnes.

Statiskas noteiktības kritērijas

Darinājums (sistema) var būt ārēji vai iekšēji statiski nenoteikts. Ja statisko līdzsvara noteikumu ($\sum X = 0$, $\sum Y = 0$, $\sum M = 0$) nolīdzinājumu plaknē pietiek visu darinājuma ārējo (slodze, balstu reakcijas) un iekšējo (lieces momenti, cirpes spēki, ass spēki) spēku atrašanai, tad darinājums ir ārēji statiski noteikts. (Pie homogēna darinājuma, piem. pie vienkāršās sijas var teikt vienkārši "statiski noteikts", jo tur nav iespējams "iekšēji statiski noteikts"). Ja statikas nolīdzinājumu būs mazāk nekā nezināmu, tad ir darīšana ar ārēji statiski nenoteiktu gadījumu. Šinī gadījumā spēku atrašanai jāņem palīgā elastības teorija. To pašu var izskaidrot arī šādi:



I disks ir kāda sija, (kas savienota ar pamatu disku (II disks) 3 stieņiem, kuri nekrustojas vienā punktā un arī nav paraleli.

Uz darinājumu darbojas spēks R .

Atbalstu stieņu spēkus S_1 , S_2 , S_3 , kas rodas no R spiediena, var vienzīmīgi noteikt pēc Kulmaņa paņēmiena, saskaldot R trijos noteiktos virzienos (komponentēs). Tā tad šāds darinājums ir statiski noteikts, jo būs 1 noteikts atrisinājums. (Atbalstot vienkāršo siju tā: - tā bija arī statiski noteikta).

Ja diskus I un II savienotu vēl ar vienu stieni S_4 , tad R vajadzētu saskaldīt 4 virzienos, bet tas dotu bezgalīgi daudz variantu un noteikts atrisinājums ir iespējams tikai ar elastības teoriju. Kad darinājuma atbalstīšanai lietoti lieki stieņi (kā S_4), tad runā par ārējo statisko nenoteiktību.

Ja disks būtu salikts darinājums, kā piemēram kopne, tad, ja kopne būtu stabila un iekšēji statiski noteikta, uzstāda prasību, lai viņā $2k - 3 = s$, kur ar k apzīmē mezglu skaitu, ar s - stieņu skaitu un ar 3 - nezināmu balstu reakciju skaitu (pie vienkāršās sijas ir 3 nezināmu $2x + x = 3x$).

Ja $2k - 3 < s$, tad saka, ka kopne ir stabila, bet iekšēji statiski nenoteikta. Ir lieki stieņi, ko nevar aprēķināt ar parasto līdzsvara noteikumu skaitu.

Ja kāds iekšēji statiski nenoteikts darinājums ir ārēji statiski noteikti atbalstīts, tad runa ir par statiski noteiktu sistemu. Ja augšējā nolīdzinājumā nezināmo balstu reakciju skaitu apzīmē ar a (ne ar 3, jo var būt arī 4, 5, atkarīgi no balstīšanas veida), tad nolīdzinājums būs: $s + a = \text{nezināmu skaits}$

$$2k = \text{līdzsvara noteikumu suma}$$

(k - mezglu skaits, katrā mezglā 2 līdzsvara noteikumi: $\sum H = 0$, $\sum V = 0$, momenta nebūs, kopā $2k$ līdzsvara noteik.) un ja $s + a = 2k$, tad statiski noteikta sistema.

Ja kopnei trūkst kāds stienis, tad var atvietot ar vienu balsta reakcijas palie-

A_z ir S_1 vert. projekcija, dos $A_z = H \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$

B_z ir S_n " " " $B_z = H \cdot \operatorname{tg} \varphi_n$

$$A = \mathcal{O} - H \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \quad B = \mathcal{L} - H \cdot \operatorname{tg} \varphi_n$$

$$\mathcal{O} + \mathcal{L} = \sum P = A + A_z + B + B_z$$

KOPNES IEKŠĒJO SPĒKU ATRAŠANA.

Atdala visu augšējo kopni ar griezumu I-I. Stieņu Z vietā pieliek kopnei no apakšas ekvivalentus spiedes spēkus.

Izdara griezumu caur kopni II-II. Apskata mezglu

m:

Visu spēku lieces moments būs:

$$M_m = A \cdot x_m - \sum_0^m P(x_m - a) + \sum_0^m Z(x_m - a) =$$

$$= \underbrace{\left[\mathcal{O} \cdot x_m - \sum_0^m P(x_m - a) \right]}_{= \mathcal{M}_m} - \underbrace{\left[A_z \cdot x_m - \sum_0^m Z(x_m - a) \right]}_{= H \cdot y_m}$$

$A_z \cdot x_m - \sum_0^m Z(x_m - a) =$ visu spēku moments apakšējai daļai. No virves poligona teorijas tas $= H \cdot y_m$, jo kopnes apakšējā josla ir virves poligons, kuru veido Z_g spēki, ja $g = \text{const}$.

Tagad: $M_m = \mathcal{M}_m - H \cdot y_m$ - šī izteiksme līdzīga trīslocīklu loka un Langeras sijas sistēmai. Izņemot A_z un B_z attiecībā uz Langeras sijas form. nekas nemainās.

Trūkst vēl H:

ņem momentu punktā C: $M_c = \mathcal{M}_c - H \cdot f = 0$ - konstruktīvi.

Ja nebūtu šī noteikuma $M_c = 0$, tad konstrukcija būtu vienreiz statiski nēnoteikta; sistemu padara par statiski noteiktu, ievietojot locīklu punktā C. No augšminētā noteikuma:

$$H = \frac{\mathcal{M}_c}{f}$$

KOPNES STIENU SPĒKI:

$$O_m = -\frac{M_m}{h} = -\frac{\mathcal{M}_m - H \cdot y_m}{h}; \quad \text{līdzīgi: } U_{m-1} = -O_m = \frac{M_m}{h} = \frac{\mathcal{M}_m - H \cdot y_m}{h}$$

D_m noteic no līdzsvara nolīdzinājuma kreisās daļas $\sum V = 0$, izdara griezumu II-II

$$D_m \cdot \sin \alpha_m + P_1 + P_2 + H \cdot \operatorname{tg} \varphi_m - H \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - A = 0$$

$$D_m = \frac{A - P_1 - P_2 - H \cdot \operatorname{tg} \varphi_m + H \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}{\sin \alpha_m};$$

$$A = \mathcal{O} - H \cdot \operatorname{tg} \varphi_1; \text{ ieliekot:}$$

$$D_m = \frac{\mathcal{O} - P_1 - P_2 - H \cdot \operatorname{tg} \varphi_m}{\sin \alpha_m};$$

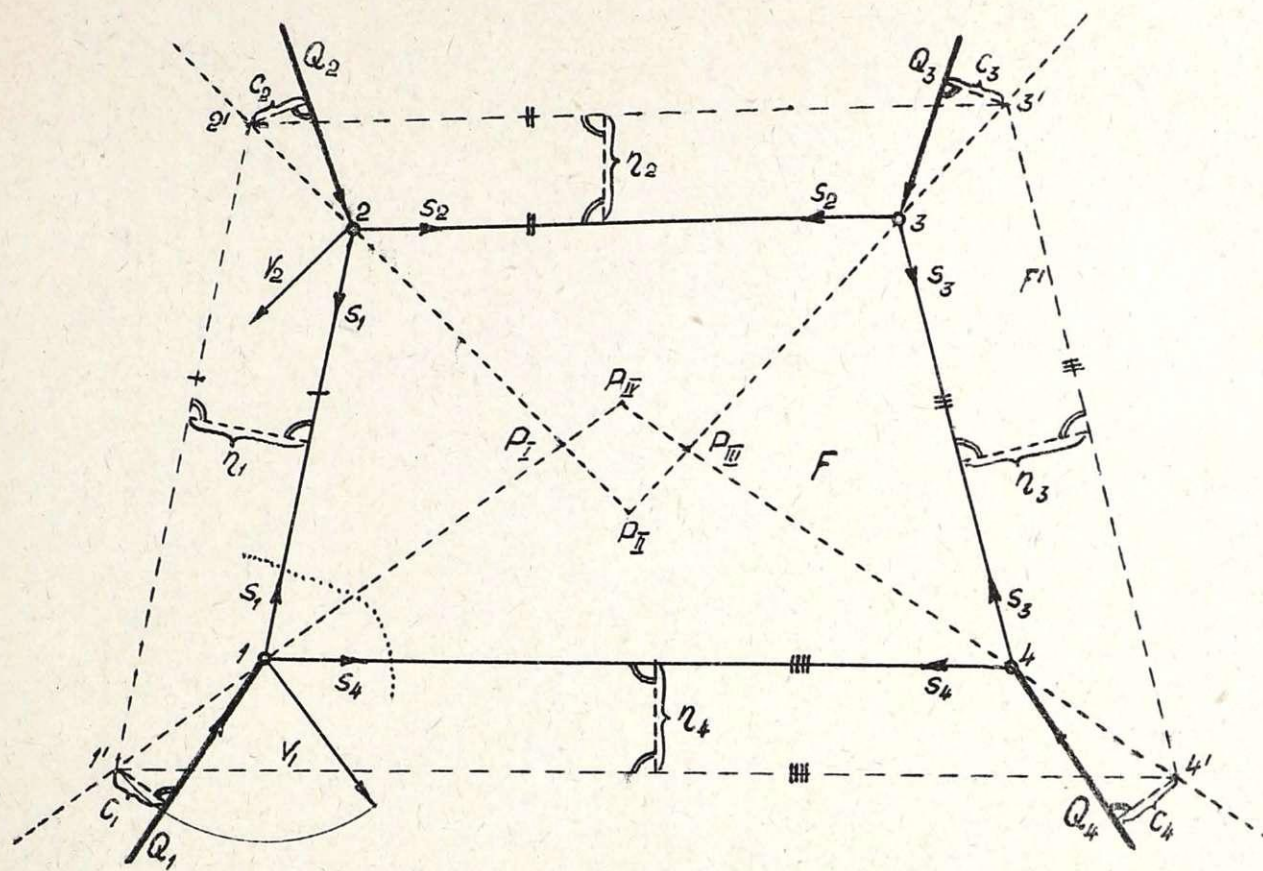
$$\mathcal{O} - P_1 - P_2 = \mathcal{O}_m, \text{ ieliekot:}$$

$$D_m = \frac{\mathcal{O}_m - H \cdot \frac{\sin \varphi_m}{\cos \varphi_m}}{\sin \alpha_m} = \frac{\mathcal{O}_m \cdot \cos \varphi_m - H \cdot \sin \varphi_m}{\sin \alpha_m \cdot \cos \varphi_m}$$

$$\mathcal{O}_m \cdot \cos \varphi_m - H \cdot \sin \varphi_m = Q_{mD} \quad \text{un} \quad D_m = \frac{Q_{mD}}{\sin \alpha_m \cdot \cos \varphi_m}$$

V_{m-1} dabon, izdarot griezumu III-III un ievērojot noteikumu, ka kreisai daļai $\sum V = 0$:

Zīm. 5.



mezgliem (resp. arī F' un F attiecīgo malu attālum). F' figūras punktā $1'$ var uzrakstīt līdzsvara nolīdzinājumus, ka F figūras mezglā 1 līdzsvarā esošo spēku momentu suma pret punktu $1' = 0$. Tāpat punktā $2', 3', 4'$.

Tā tad:

$$\begin{aligned} \text{punktā } 1': & -S_1 \cdot \eta_1 \dots \dots \dots + S_4 \cdot \eta_4 - Q_1 \cdot c_1 = 0 \\ \text{" } 2': & +S_1 \cdot \eta_1 - S_2 \cdot \eta_2 \dots \dots \dots + Q_2 \cdot c_2 = 0 \\ \text{" } 3': & \dots \dots \dots + S_2 \cdot \eta_2 - S_3 \cdot \eta_3 \dots \dots \dots - Q_3 \cdot c_3 = 0 \\ \text{" } 4': & \dots \dots \dots \dots \dots + S_3 \cdot \eta_3 - S_4 \cdot \eta_4 + Q_4 \cdot c_4 = 0 \end{aligned}$$

$$\text{Saskaitot:} \quad \circ \quad \circ \quad \circ \quad \circ \quad \underline{\underline{\sum Q \cdot c = 0}}$$

Q - ārējie spēki; c - spēku pleci. Atgādina līdzsvara nolīdzinājumu, bet n a v līdzsvara nolīdzinājums, jo katra Q spēka statiskā momenta plecs c ņemts p r e t c i t u punktu. Šis likums pastāv tikai tad, kad Q spēki līdzsvarojas. Un tas ir pareizs arī tikai tad, ja darinājums (kopne) ir tikai vienreiz mainīgs (trūkst tikai viena saite).

Spēku stieņos un ietekmju līniju aprēķināšana ar pamatizteiksmes $\sum Q \cdot c = 0$ palīdzību

Ja visi: Kremona, Rittera u.t.t. paņēmieni neder stieņu spēku aprēķināšanai, tad var rīkoties šādi: dota kopne ar nekustīgu, nemainīgu formu, statiski noteikta. Vienu stieni izmet laukā (to stieni, kura spēku grib uzzināt) un ar to padara darinājumu kustīgu pirmā kāpē (divi stieņi - otrā kāpē) un pieliek tur attiecīgos iekšējos spēkus, kurus uzskata pagaidam par ārējiem spēkiem. Tad uzzīmē pēc apskatītā piemēra (zīm. 5) figūru F' un aprēķina kā zemāk rādīts.

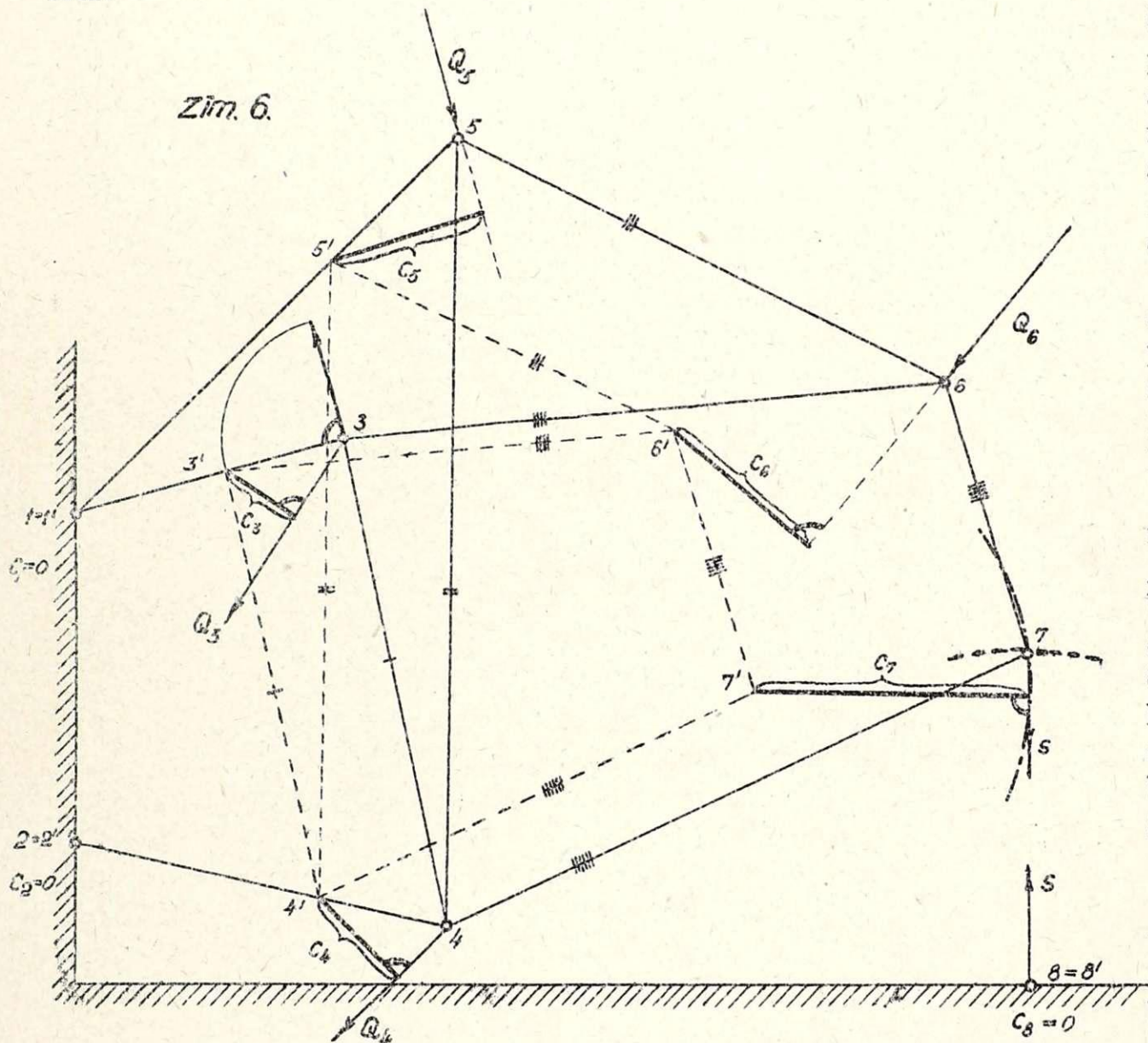
Tas viss būs palīgoperācijas, kam nav nekāda sakara ar inženiera reālo uzskatu. Visu apskatīto pielieto kā palīglīdzekli.

Padarot kādu sistemu, kura nemainīga, pirmā kāpē mainīgu (izņemot vienu stieni), bet spēkus atstājot līdzsvarā, var iegūt figūru (sistemu) F' , kuras pamatizteiksme dod atrisinājumu. Ja kādā sistemā kustas stienis, tad kustas arī pārējie, bet to mezgli kustas pa zināmu ceļu, kuru noteic pārējo stieņu un mezglu kustība.

P i e m ē r s : (skat. Kirchhoff I d.).

Dots četrstūris 1-2-3-4 (zīm.6). Punkti 1 un 2 nekustīgi. Četrstūris ir mainīgs! Uz pirmo acu uzmetienu tomēr nevar pateikt, vai sistema ir mainīga vai nē. Piedodot 3. un 4. punktam kādu ātrumu, var veidot F' . Ja iespējams veidot šādu F' , kas nav līdzīga pieņemtai figurai F , tad tā ir kustīga. Pagaidam pieņemts, ka kustība nav izsaukta no stieņu pagarināšanās, bet gan ka mezgli saistīti un pārvietojas atkarībā viens no otra.

Dots, ka punkti 1 un 2 nekustīgi; tad $1 = 1'$ un $2 = 2'$. Sakarā ar to arī 3 jā - kustas pa aploci ap 1, un 4 ap 2, t.i. $V_3 \perp 1-3$ un $V_4 \perp 2-4$. Tagad redzams, ka šī figura ir mainīga. Jo mezgli 3 un 4 katrs kustas pa savu aploci (katram savs pols). Ar to zināmi divi pieņēmumi: 1) $V_3 \rightarrow$ un 2) $V_4 \rightarrow$. Kā trešo pieņem V_3 lielumu. Atliekot to uz 1-3 (jo V_3 bija $\perp 1-3$), dabon $3'$. V_4 var aprēķināt, bet tā kā $4'$ jābūt aiz tā paša iemesla uz 2-4 un $3'-4'$ jābūt paralelam 3-4, jo F' figuras malas paralelas F figuras malām.



Četrstūrim 1-2-3-4 pievieno punktus (mezglus) 5,6,7, katru ar 2 stieņiem, kā tas redzams no zīm. 6 (5 punktu pievieno ar 1-5 un 4-5 u.t.t.). Tad atrod arī $5'$, $6'$, $7'$, tāpat kā atrada $4'$.

Tā kā 5. punkts ir saistīts ar diviem stieņiem 1-5 un 4-5 pie 1. un 4. punkta, tad $5'$ ir noteikts: velkot $1'-5'$ paraleli 1-5 un $4'-5'$ paraleli 4-5. Līdzīgi atrod $6'$, $7'$.

Saskaitot mezglus un stieņus, var konstatēt, ka darinājums mainīgs. Lai darinājums būtu nekustīgs, to atbalsta vēl ar stieni 7-8, pie kam punkts 8 nepārvietojams (kā 1 un 2). Noskaidrots, vai darinājums ir statiski noteikts.

$$b=0; f=3; s=10; k=8$$

$$2.k = 2.8 = \underline{16} = s + b + 2.f =$$

$$= 10 + 0 + 2.3 = \underline{16}$$

Tā tad tagad darinājums statiski noteikts.

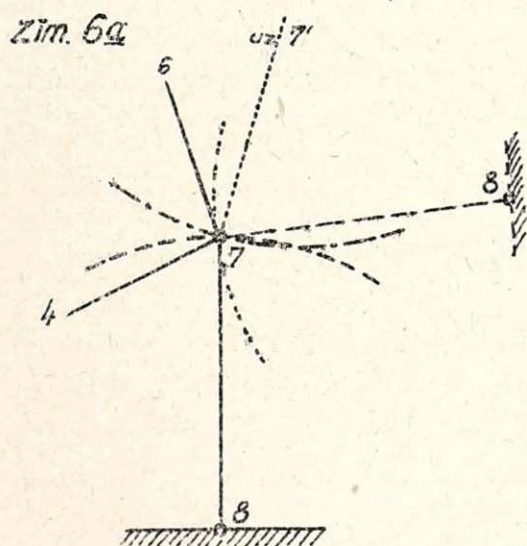
Bet vai tomēr nav iespējams, ka stieņi pārvietojas bezgalīgi maz, kādēļ rodas bezgalīgi

liels spēku pieaugums? Pirms stieņa 7-8 ievietošanas punkts (mezgls) 7 var pārvietoties pa aploci ap $7'$, jo $7'-7$ virzienā ir momentālais pols. Ievietojot stieni 7-8, punkts 7 var pārvietoties pa aploci ap $8-8'$, jo pols ir 8. Šeit abas aploces krustojas gandrīz zem taisna leņķa, ko praksē pieņem par absolūti nekustīgu (drošu). Ja aploces iznāktu kā rādīts zīm. 6a, tad abām liknēm ir divi bezgalīgi tuvi punkti, t.i. punkts 7 var pārvietoties pa bezgalīgi mazu gabalu un kopne ir kustīga. Teoretiski šāds punkts itkā arī būtu nepārvietojams, bet praktiski to nevar pieļaut. Inženieram tādā gadījumā atbalsta punkts 8 būtu jānovieto citā vietā, piem. kā parādīts ar raustītu līniju!

Atzīmējams, ka praksē nav lietojamas konstrukcijas, kur abas aploces krustojas slīpi zem maza leņķa; starp abām aplocēm jābūt noteiktam leņķim (vislabāk 90°).

Ar stieni 7-8 par nemainīgu pārvērsts darinājums slodzēts ar ārējiem spēkiem Q (tiem dažādi virzieni). Jāaplēs spēks S (reakciju) stienī 7-8.

Vispārīgi, lai no nemainīgās figuras gūtu vienreiz mainīgu figuru, izņem vienu stieni laukā, bet tā vietā, lai netraucētu līdzsvaru, pieliek 2 spēkus.



Iedomājas stieni 7-8 izņemt un atvietotu ar spēku S , kuru pieņem pagaidam par stiepes spēku (attiecīgi atzīmējot bultiņu). Šo S spēku uzskata tagad par ārējo spēku. Tagad figura ir mainīga, viņai ir uzziņēta F' figura un uz to var attiecināt pamatizteiksmi $\sum Q \cdot c = 0$, kura bija atrasta vienreiz mainīgai figurai (sistemai). Jāatrod pleci c . Spēki Q_1, Q_2 un Q_8 nepārvietojas, jo $c_1 = c_2 = c_8 = 0$ (jo pamatnoteikumā $V_1 = V_2 = V_8 = 0$). Pārējie pleci no zīmējuma. Momentu nolīdzinājums:

$$Q_3 \cdot c_3 + Q_4 \cdot c_4 + Q_5 \cdot c_5 + Q_6 \cdot c_6 + S \cdot c_7 = 0, \text{ tad}$$

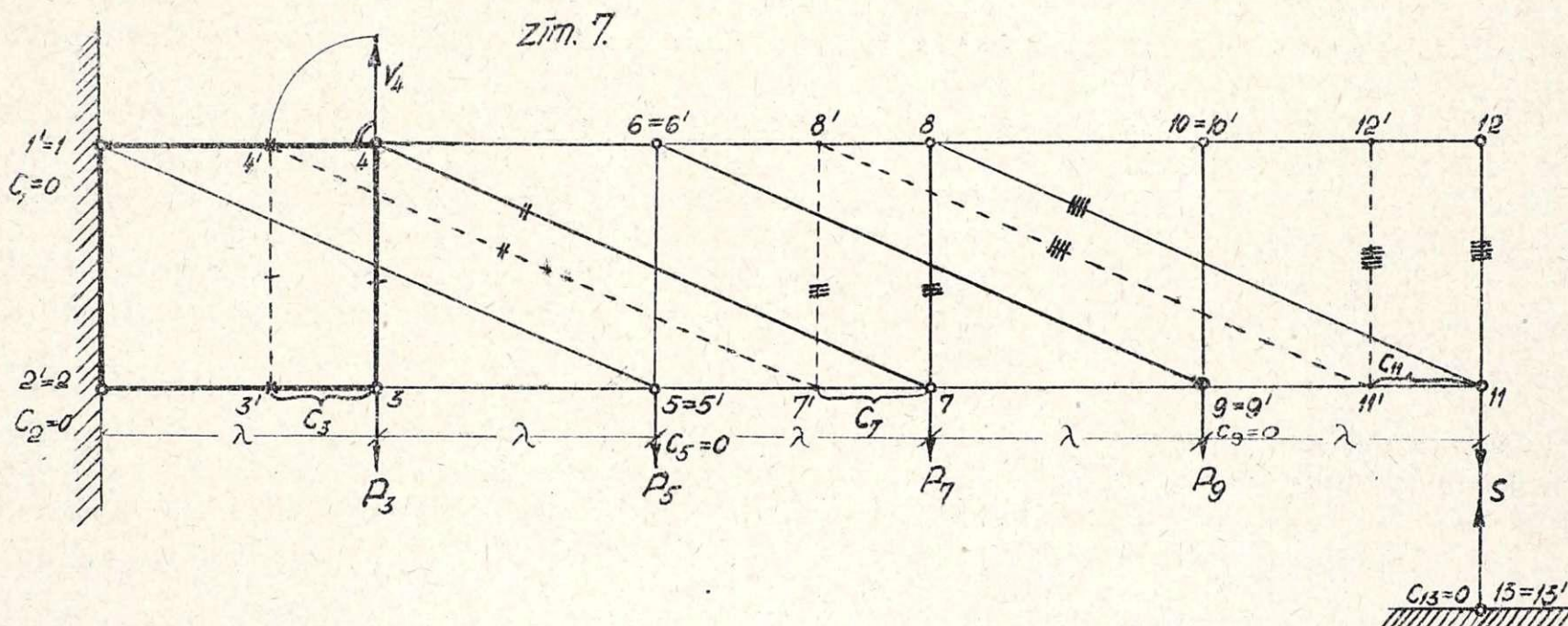
$$S = - \frac{Q_3 \cdot c_3 + Q_4 \cdot c_4 + Q_5 \cdot c_5 + Q_6 \cdot c_6}{c_7}$$

Redzams, ka S virziens nepareizi pieņemts: S ir spiests (-), bet ne stiepts (+), kā sākumā pieņemts.

No nolīdzinājuma redzams, ka ja c_7 ir mazs, tad S paliek liels. Atkarībā no punkta 8 vietas, c_7 var mainīties. Redzams, ka c_7 var būt bezgalīgi mazs, bet tad S - ļoti liels un darinājums kļūst praktiski mainīgs. c_7 ir saucēja determinants. Saucējā $c_7 = 0$ ir pazīme, ka 7' krīt vai nu uz pašu mezglu 7, vai uz līnijas 7-8, resp. uz viņa pagarinājuma. Tad tāds balstīšanas veids neder.

Figuru F' zīmē tā, itkā stieņu garumi nemainītos; bet tā kā tie mainās, tad faktiski 7' punkts var būt izvirzīts no taisnes 7-8 stieņu garumu deformācijas dēļ, dodot plecu $c_7 \neq 0$. Tomēr spēks S būs tik liels, ka nebūs piemērots. (Bet var gadīties arī otrādi: stieņu garumu deformācijas samazina plecu c_7 un līdz ar to palielina spēku S).

P i e m ē r s : Kopne ar paralelām josiām.



1-2-3-4 mainīgs četrstūris. Tādēļ kopne 1-2-3-... 12 vienreiz mainīga - labila, kustīga (tālākie mezgli pievienoti pie mainīga četrstūra). Lai būtu nemainīga, jāpieliek 1 atbalststienis 11-13. Tad

$$b = 0; \quad f = 3; \quad k = 13; \quad s = 20$$

$$2k = 2 \cdot 13 = \underline{26} = s + b + 2f = 20 + 0 + 2 \cdot 3 = \underline{26}$$

Tagad kopne nemainīga un statiski noteikta.

Darinājumu padara vienreiz mainīgu, izņemot saiti 11-13 un pieliekot spēku S , kuru pieņem par pozitīvo - stiepi.

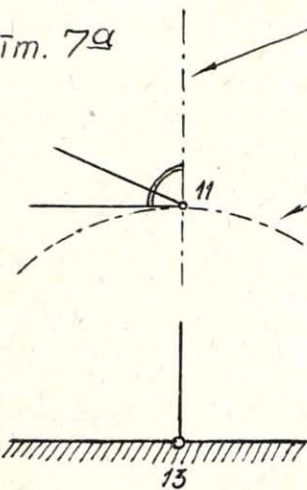
$\sum Q \cdot c = 0$. Lai atrastu plecus c , F' figurai meklē F' figuru. Arī šeit konstruktīvi $V_1 = V_2 = 0$, jo pieņem, ka 1. un 2. mezgls ir nepārvietojami balsti (tāpat 13) - paliek savās vietās. 4. mezgla ātruma virziens jau dots, jo mezgls 4 var pārvietoties tikai pa aploci, kura pols, resp. centrs ir mezgls 1 = 1'. V_4 lielums jāpieņem (patvaļīgi). Tāpat zinams 3. mezgla ātruma virziens. Tā tad, mums doti:

$$\left. \begin{array}{l} 1) \quad V_1 \leftarrow = 0 \\ 2) \quad V_2 \leftarrow = 0 \\ 3) \quad V_4 \leftarrow \end{array} \right\} \text{konstruktīvi, caur ko zinami arī } \left\{ \begin{array}{l} V_4 \rightarrow \\ V_3 \rightarrow \end{array} \right.$$

(Ar to visi trīs noteikumi izsmelti).

Atbrīvojot saiti 11-13, mezgls 11 pārvietojas:

Zīm. 7a



Šis ir virziens, kādā pārvietojas 11 mezgls, ja atbrīvo saiti 11-13. Faktiski tā būs līkne, bet bezgalīgi mazam pārvietojumam var ņemt tangenti.

Aploce, pa kuru pārvietojas 11. mezgls, ja to atbrīvo no kopnes, bet atstāj pie saites 11-13.

Abi virzieni krustojas, tādēļ balstišanas veids pareizs un kopne nemainīga.

Pieliek spēkus P_3, P_5, P_7 un P_9 , jāatrod spēks S (reakcija).

Zīmējot pēc iepriekšējā piemēra (saite 11-13 izņemta), dabon, ka: $5 = 5', 6 = 6',$ tāpat $9 = 9'$ un $10 = 10'$.

Pārejie punkti nesakrīt, kas ir skaidrs pierādījums, ka F' nav līdzīga F un līdz ar to F ir mainīgs.

$c_1 = 0; c_2 = 0; c_{13} = 0. c_5 = c_9 = 0.$ Un pie vienādiem paneļiem vār teikt, ka: $c_3 = c_7 = c_{11},$ pie kam $c_3 = 3-3', c_7 = 7-7'$ un $c_{11} = 11-11'$

Tad, sastādot $\sum Q \cdot c = 0,$ dabon:

$$P_3 \cdot c_3 + P_7 \cdot c_7 + S \cdot c_{11} = 0, \text{ no kurienes } S = - \frac{P_3 \cdot c_3 + P_7 \cdot c_7}{c_{11}}$$

Iznāk spiests, tāpēc virziens ir pretējs pieņemtam.

Šeit labi redzams, ka tas gluži vienalga, kādā mērogā šis c (resp. V_4) pieņemts.

Šinī spec. piemērā, kur $c_3 = c_7 = c_{11},$ viņi vēl saīsinas un atliek ka: $S = - (P_3 + P_7).$

Šeit vēl redzams, ja spēki būtu pielikti tikai mezglos 5 un 9, tad balsts 13 nebūtu vajadzīgs. Tas ir dīvaini, bet saprotams, ja apskata, ka P_5 un P_9 atbalstas uz trīsstūriem, kuri spēkus pārnes uz kreiso balstu, bet spēki P_3 un P_7 pārnesas pa stieniem (trīsstūri) 3-4-7-8-11 uz labo balstu.

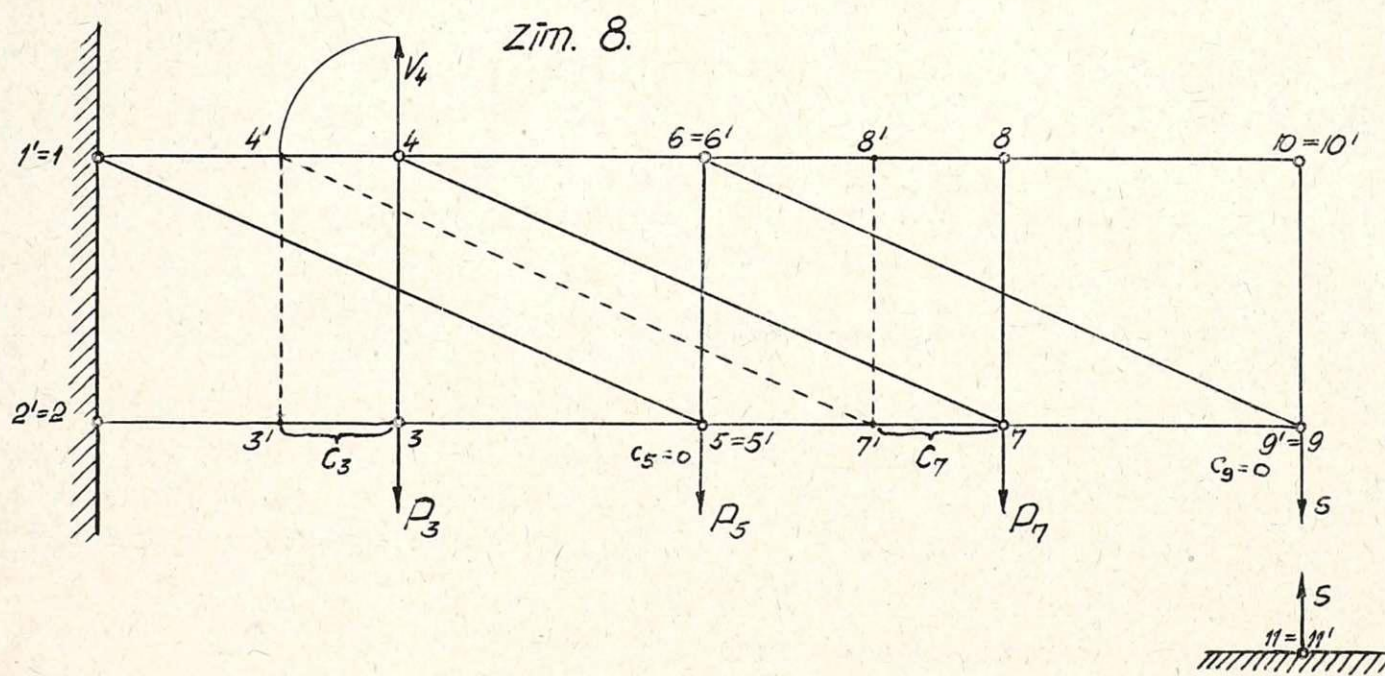
Šādu mainīgu četrstūri lieto kalnraktuvju torņos lifta augšējā riteņa atbalstišanai, lai mīkstinātu apstāšanos.

P i e z ī m e s : 1) Par spēku Q uzskata arī balsta reakcijas. A_{13} (reakcija pie 13) vietā liek spēku $S.$ Zīmes te nav svarīgas.

2) Iesācējam šinī lietā ieteicams sākt no ātrumiem. Tad sākot ar mezglu, kura novietojums ir neapšaubami zinams, apzīmē ātrumus. Sāk no ciešā balsta ($c_1 = 0, c_2 = 0$).

3) Pāriet uz tādu mezglu, kura pārvietojums nekādas šaubas nerada (piem. mezgls 4 vai 3). Tad ātruma virzieni ir zināmi (3,4 kustas pa aploci, tā tad ātrums \perp radiusam - stienim 1-4, 2-3). Ātrumu V_4 pārnes uz stieni 1-4. To pašu taisa mehāniski tālāk. Šāda ir konstrukcija, bet nevis realie pārvietojumi.

L i d z ī g s p i e m ē r s :



Šeit viens panelis mazāk kā zīm. 7. Šeit, acīmredzot, nekas jauns nebūs. Pieņem atkal, ka 1 un 2 ātrumi=0 u.t.t. Zīmē F' . Šeit dabon:

$$P_3 \cdot c_3 + P_7 \cdot c_7 + S \cdot c_9 = 0;$$

$$S = - \frac{P_3 \cdot c_3 + P_7 \cdot c_7}{c_9} = -\infty,$$

jo $c_9 = 0.$

Tā tad izlaižot vienu paneli kopnei zīm. 7, spēks S paliek bezgalīgi liels, kas mums neder! Šeit gan notei-

kums $2k = s + b + 2f$ ir izpildīts, bet kopne tomēr nederīga! Šāda kopne ir tad derīga, ja viņai ir nepāra paneļu skaits. Vispār: S var būt bezgalīgi liels, ja 1) $V_9 \leftarrow = 0,$ bet tas grūti ticams - 9. mezgls tomēr pārvietosies; 2) V_9 faktiskais virziens var būt tāds, kas statenisks pret vertikali (kustas horicontālā virzienā). Tad $c_9 = 0.$ Šinī speciālā gadījumā var arī būt, ka $V_9 \leftarrow = 0.$

Punktā o jau doti momenti ar kautkādiem balsta noteikumiem (piem. $M_o = 0$, tad J_1 sakrīt ar balstu o). Sadala pārslaidumus trešdaļās un, atliekot attiecīgi, dabon tā saucamās pārvietotās trešdaļas līnijas. Sākot ar O balstu, kur J_1 zinams (šīnī gadījumā sakrīt ar balstu) atrod vispirms J punktus. Tā J_2 atrasts ar taisnēm 1, 2, 3, J_3 atrod, izejot no J_2 u.t.t. Tā iziet cauri līdz otram galam. Tad, no labā galējā balsta izejot, pretējā virzienā ejot, ar tadu pat konstrukciju atrod visus K punktus.

Balstu momentu noteikšana ar krustlīniju palīdzību

(Zīm. līdzīgs zīm. d 83.lpp.)

$\overline{B_2B_3}$ un $\overline{C_2C_3}$ balstu vertikālie nogriezumī. Zinot J un K punktus, uzzīmē momentu diagrammu.

Elastīgie svāri: $\omega_3 = M_B \cdot \frac{l_2}{2}$; $\omega_5 = M_C \cdot \frac{l_2}{2}$;

$$\omega_4 = \frac{2}{3} \max \omega. l_2;$$

ω_3 stat. moments pret kreiso balstu (B_1):

$$St'_{\omega_3} = \omega_3 \cdot \frac{l_2}{3} = M_B \cdot \frac{l_2^2}{6} = \overline{B_1B_2} \cdot H$$

ω_4 stat. moments pret labo balstu (C_1):

$$St''_{\omega_4} = M_C \cdot \frac{l_2^2}{6} = \overline{C_1C_2} \cdot H$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Lai } \overline{B_1B_2} = M_B \\ \text{" } \overline{C_1C_2} = M_C \end{array} \right\} \text{ tad jāpieņem } H = \frac{l_2^2}{6}$$

Tā balsta nogriezumī tūliņ zīmējumā dod attiecīgus balsta momentus attiecīgā mērogā. (Ērtība).

$$\text{Tālāk: } \overline{B_2B_3} = \omega_4 \cdot \frac{l_2}{2} = \frac{2}{3} \max \omega \cdot \frac{l_2^2}{2} = \overline{B_2B_3} \cdot H$$

pret kreiso balstu B_1

no virves poligona teorijas.

$$\overline{C_2C_3} = \omega_4 \cdot \frac{l_2}{2} = \frac{2}{3} \max \omega \cdot \frac{l_2^2}{2} = \overline{C_2C_3} \cdot H$$

pret labo balstu C_1

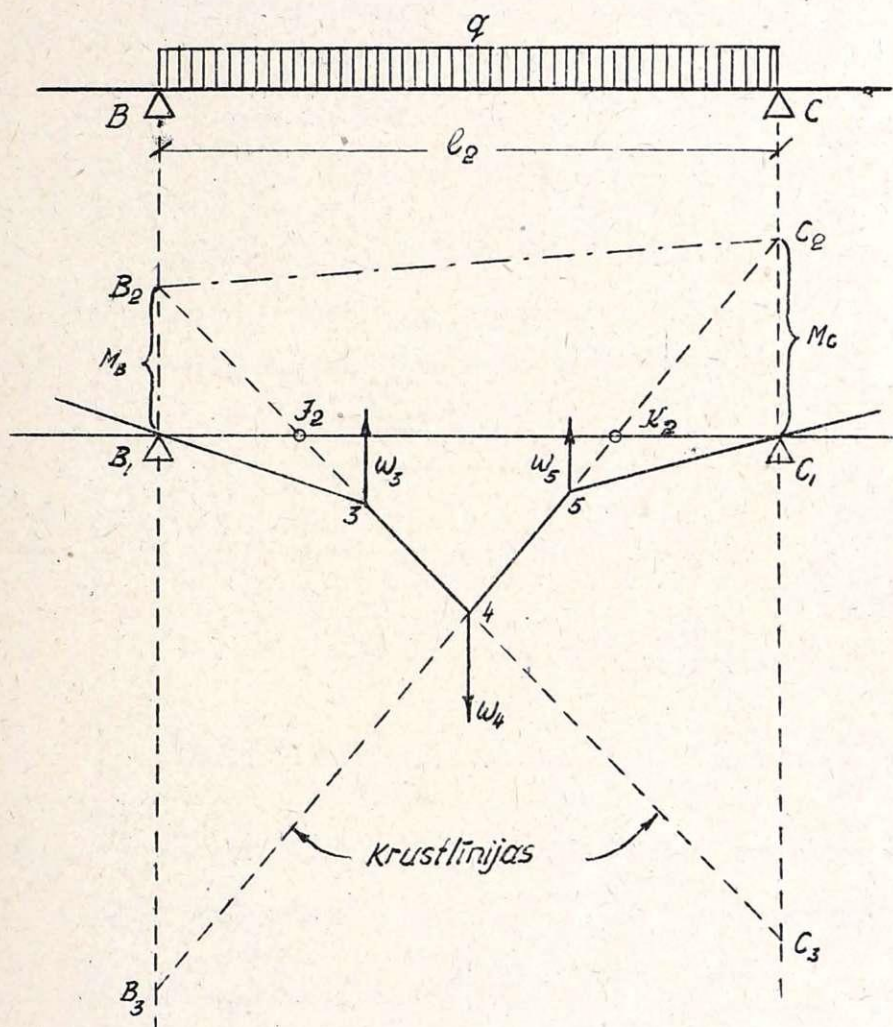
$$\text{Tā ka } \overline{B_2B_3} = \overline{C_2C_3}, \text{ tad } \overline{B_2B_3} \cdot H = \overline{C_2C_3} \cdot H$$

$$\text{Tā kā pieņemts } H = \frac{l_2^2}{6}, \text{ tad } \overline{B_2B_3} = \overline{C_2C_3} \cdot \frac{l_2^2}{6} = \frac{2 \cdot \max \omega \cdot l_2^2}{3 \cdot 2};$$

$$\overline{B_2B_3} = 2 \max \omega = \frac{2 \cdot q \cdot l_2^2}{8} = \frac{1}{4} q l_2^2$$

Tāpat

$$\overline{C_2C_3} = \overline{C_2C_3} \cdot \frac{l_2^2}{6} = \frac{2 \cdot \max \omega \cdot l_2^2}{3 \cdot 2}; \quad \overline{C_2C_3} = 2 \max \omega = \frac{1}{4} q l_2^2$$



III. #Tabeles. Veidojot pielaidumu pēc taisnes vai pēc kādas noteiktas līknes, ir iespējams sastādīt tabeles krustliniju, nul punktu un ietekmju līniju ērtai atrašanai. Šādas tabeles var atrast piem. Suter'a, Strassner'a, Mörsch'a.

Tā kā šinī piemērā slodze ir nemainīga, momenti atrasti pēc II paņēmiena, pielietojot krustlinijas. Krustlinijas, neg. balstu momenti un momenti atsevišķos šķēļienos atrasti ar $g_1 = 1,0 \text{ t/m}$. Citai slodzei $g_2 = 1,5 \text{ t/m}$ momentu lielumi atrodami, reizinot atrastos lielumus ar attiecību $\frac{g_2}{g_1}$.

Lai atrastu negatīvos balstu momentus no slodzes $g = 1 \text{ t/m}$, piem. 1. laidumā, no balsta A uz leju nosprausts krustlinijas nogrieznis $k_1^a = 49,2 \text{ tm}$ (šinī gadījumā k_1^a aprēķināts pēc sakarības 11. Aprēķinu skat. K. Gaiļa rakstā). Savienojot nogriežņa k_1^a galu ar balstu B, krustojumā ar vertikāli caur nul punktu b_1 dabon punktu m_1 , caur kuru iet momentlīnija Am_1 , kas nogriež zem balsta B momentordināti $M_1^B = 30,0 \text{ tm}$, ja slodzēts 1. laidums. Momentlīnijas Am_1B' turpinājums iet caur otru nul punktu b_2 un nogriež uz balsta C pozitīvu momentordināti. $M_1^C = 14,0 \text{ tm}$. Momentlīniju no 3. laiduma slodzēšanas dabon kā spoguļattēlojumu.

Analogi atrasti negatīvo balstmomentu lielumi no 2. laiduma slodzēšanas, atliekot zem balstiem B un C krustliniju nogriežņus un viņu galus savienojot ar punktiem B un C. Taisne $m_2 - m_2$ nogriež virs balstiem attiecīgās momentordinates $M_2^B = M_2^C = -29,0 \text{ tm}$.

Momentordinates no visu triju laidumu slodzēšanas grafiski saskaitītas un rezultāti sakopoti tabelē IV.

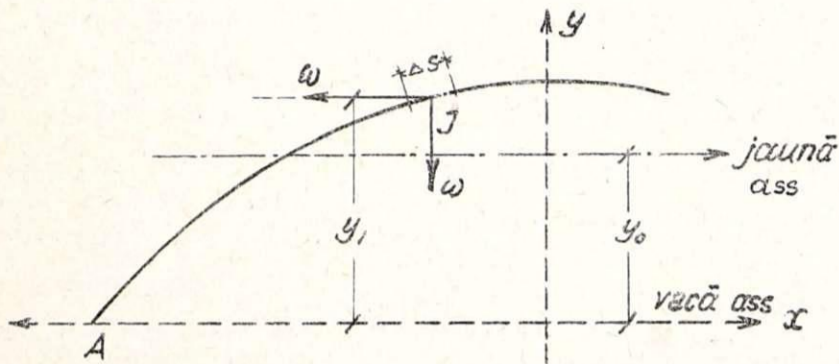
IV T A B E L E .

Grie - zumi	x	x'	x.x'	$g=1 \text{ t/m}$ $M_0 = g \cdot \frac{x \cdot x'}{2}$ tm	M^B tm	$M = M_0 - M^B$ tm	M no slodzes $g = 1,5$ tm
1. l a i d u m s							
0	0	16	0	0	0	0	0
1	2	14	28	14	-5,62	8,38	12,58
2	4	12	48	24	-11,25	12,75	19,12
3	6	10	60	30	-16,86	13,14	19,72
4	8	8	64	32	-22,50	9,50	14,25
5	10	6	60	30	-28,10	1,90	2,85
6	12	4	48	24	-33,80	-9,80	-14,70
7	14	2	28	14	-39,40	-25,40	-38,10
8	16	0	0	0	-45,00	-45,00	-67,50
2. l a i d u m s							
8	0	20	0	0	-45,00	-45,00	-67,50
9	2	18	36	18	"	-27,00	-40,50
10	4	16	64	32	"	-13,00	-19,50
11	6	14	84	42	"	- 3,00	- 4,50
12	8	12	96	48	"	+ 3,00	+ 4,50
13	10	10	100	50	"	+ 5,00	+ 7,50
12'	12	8	96	48	"	+ 3,00	+ 4,50
11'	14	6	84	42	"	- 3,00	- 4,50
10'	16	4	64	32	"	-13,00	-19,50
9'	18	2	36	18	"	-27,00	-40,50
8'	20	0	0	0	"	-45,00	-67,50

3. l a i d u m ā momentu lielumi attiecīgos griezumos līdzīgi tādiem 1. laidumā.

minētās prasības, var viegli uziet: viņu centrs 0 būs elastīgu svaru smaguma centrs. Viņus var atrast kā analitiski, tē arī grafiski.

P i e z ī m e :
Mörsch (Beton-Kalender'a) apzīmē $\frac{ds}{J} = d\omega$, bet ņemot \int vietā \sum , viņš $\frac{ds}{J} = d\omega$ vietā ņem $\frac{s}{J} = \omega$, bet šeit konsekvences dēļ ņemts, ka $\frac{\Delta s}{J} = \omega$



Praksē loku sadala vienādās daļās, p.p. $\Delta s = 1m$ garumā.

Tad $\frac{\sum \omega y'}{\sum \omega} = y_0$

y_0 - nosaka jaunās koordinātu sistēmas x-x ass stāvokli. y-y ass paliks simetrijas dēļ tā pati.

Ja šādas jaunās assis būtu atrastas, tad, skaitot koordinātes no viņām, dabon:

no 1) : $0 = \int M_0 \frac{ds}{J} \cdot y - H \int y^2 \cdot \frac{ds}{J} - H \int \frac{ds}{F} + \alpha_t \cdot t \cdot l \cdot E$

No šejienes var atrast H:

$$H = \frac{\int M_0 \frac{ds}{J} \cdot y + \alpha_t \cdot t \cdot l \cdot E}{\int y^2 \cdot \frac{ds}{J} + \int \frac{ds}{F}}$$

Ja ass spēku pie deformācijām neievēro (pie lieliem f N spēku iespaidu var pavisam neievērot un pie maziem f, t.i. pie plakaniem lokiem pietiek, ja pieņem, ka $N \cdot \cos \varphi = H$ un $N \cdot \sin \varphi = 0$, kā agrāk darīts, tad izkrit arī locekļi $H \int \frac{ds}{F}$, jo tas rodas no ass spēka N_x .

Sastāda īpašas tabeles:

Sekcijas	Δs	J	ω	y'	$\omega y'$	ωx	ωy	$\omega x \cdot x$..
1
2
3
			$\sum \omega$	$\sum \omega y'$	$\sum \omega x$	$\sum \omega y$	$\sum \omega x \cdot x$..	

Šinī gadījumā viņu atstāj

No 2) : $0 = - \int M_0 \frac{ds}{J} \cdot x + V \int x^2 \cdot \frac{ds}{J} + H \int \frac{ds}{F} \cdot \operatorname{tg} \varphi$

Šeit beidzamo locekli (radius no ass spēka) var izņemt, jo pie simetriskā loka (AB horic.) $\int \operatorname{tg} \varphi = 0$ un arī pie nesimetriskā loka ir ļoti mazs. No šī nolīdzinājuma var atrast V :

$$V = \frac{\int M_0 \frac{ds}{J} \cdot x}{\int x^2 \cdot \frac{ds}{J}}$$

No 3) : $0 = \int M_0 \frac{ds}{J} + M \int \frac{ds}{J}$, no kurienes $M = - \frac{\int M_0 \frac{ds}{J}}{\int \frac{ds}{J}}$

Apzīmējumi:

$\frac{\Delta s}{J} = \omega$, $\frac{\Delta s}{J} \cdot y = \omega \cdot y = \omega_y$ un $\frac{\Delta s}{J} \cdot x = \omega \cdot x = \omega_x$

Ja loks sadalīts atsevišķās daļās Δs , tad \int vietā var lietot \sum . Var no 1) nolīdzinājuma atrasto H sadalīt 2 daļās: 1. daļa, kas cēlusies no temperatūras = H_t un 2. daļa no slodzes = H. H_t ir papildu H spēks. H_t dod \pm momentus, atkarībā no vietas. Viņu aprēķina atsevišķi.

šķēlienā x $H_t(x) = \frac{E \cdot \alpha_t \cdot t \cdot l}{\int y^2 \cdot \frac{ds}{J} + \int \frac{ds}{F}}$

atrod tikai analitiskā ceļā. (var pavisam atņemt, jo mazs).

var atrast arī ar ietekmju līnijām.

3 statistiski nenoteikti lielumi:

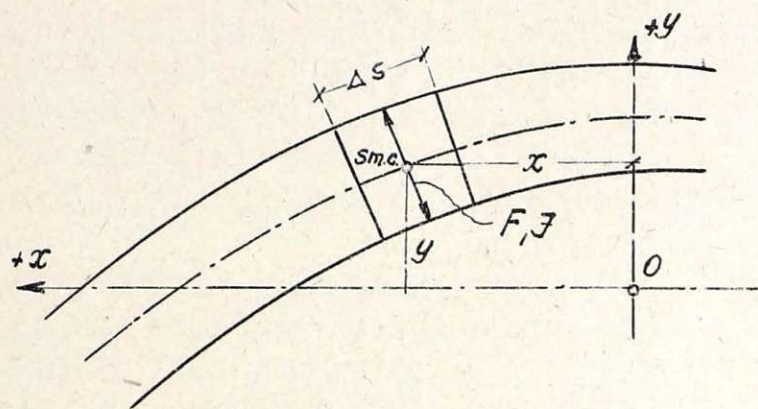
$$H = \frac{\sum M_0 \cdot \omega_y}{\sum \omega_y \cdot y + \sum \frac{\Delta s}{F}}$$

$$V = \frac{\sum M_0 \cdot \omega_x}{\sum \omega_x \cdot x}$$

$$M = - \frac{\sum M_0 \cdot \omega}{\sum \omega}$$

šeit Mörsch'am ir s

Labums tas, ka rezultātu precizitāte neatkarājas no atsevišķu daļu nelielās precizitātes. Tādas metodes, kuru gala rezultātos ir apmēram vienādu sumandu diference, jāvērtē ar vairāk zīmēm pēc komata.



J un F ņem pret šķēliena smaguma centru, tāpat arī x, y . Šķēlienus ieteicams ņemt \perp pret loka asi (lēzeniem lokiem var ņemt arī vertikālu šķēlienu)

$$\omega_x, \omega_y, \omega_x \cdot x, \omega_y \cdot y$$

vērtībām var sastādīt atsevišķas tabeles un saskaitīt (var turpināt iepriekšējā lpp. parādītās tabeles).

No tabelēm atrod augšējo formulu saucējus. Arī skaitītājus var pēc tabelēm noteikt.

Loceklis $\sum \frac{\Delta s}{F}$ katrā ziņā jāaprēķina analitiski;

bet šo locekli atmet, jo tas ļoti mazs (5 + 8 %). Ja ir darīšana ar pastāvīgu slodzi (p.p. baznīcas velve), tad labāk visu gājienu atrisināt analitiski ar tabeļu palīdzību, visi vajadzīgie lielumi atrodami tabelēs. Pie kustīgām slodzēm turpretim labāk visu gājienu atrisināt ar ietekmju līniju palīdzību.

$$M_x = M_o + M - H \cdot y - V \cdot x$$

šķēlienā x :

$$N_x = Q \cdot \sin \varphi + H \cdot \cos \varphi \quad (\text{t.i. ja balsti A un B vienā līmenī})$$

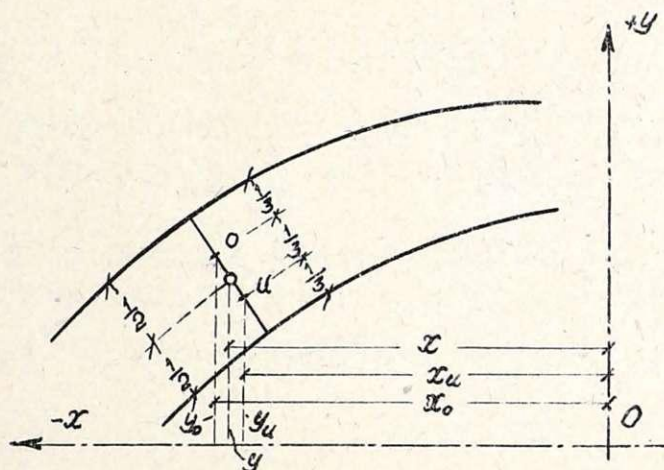
$$\sigma = \frac{N_x}{F} \pm \frac{M_x}{W}$$

Ērti arī rīkoties ar kodola momentiem, t.i. ar momentiem pret kodola punktiem o un u :

$$M_x^o = M_o^o + M - H \cdot y_o - V \cdot x_o$$

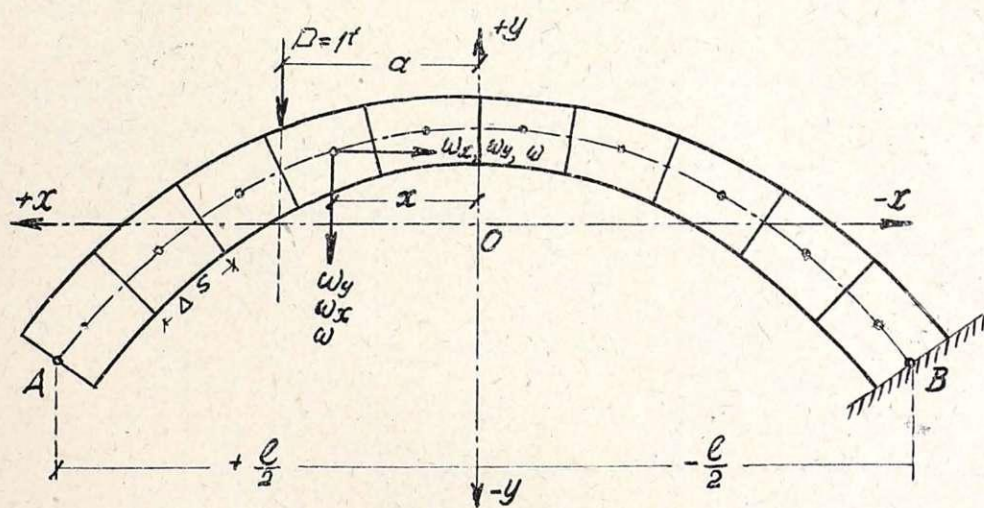
$$M_x^u = M_o^u + M - H \cdot y_u - V \cdot x_u$$

Pieņemot šķēlienu vertikālu, $x_o = x_u$, tā tad x nemainas, mainas tikai y , jo kodola punkts o ir augstāk par u .



Ietekmju līnijas

Pamatsistema ir konsolsija. $P = 1^t$ ieteicams nostādīt šuvju centrā (kur elementa Δs gala šķēlieni krustojas ar asi). Vēl pareizāk likt viņu šuves smaguma centrā. Spēku $P = 1^t$ nostādīt uz šuves ir tāpēc pareizāk, ka virves poligona lūzumu punkti būs zem spēkiem ω , kuri pielikti elementa Δs smaguma centrā. Tad zem šuvēm būs pareizas virves poligona ordinātes (pieskares punkti).



Grib atrast H, V , resp. M ietekmju līnijas ordinātes zem spēka $P = 1^t$ (pēc zīm.). Kāmēr $x > a$, $M_o = 0$ (konsolsija). Kāmēr $x < a$ (algebrāiski, ne absolūti), tad $M_o = -1^t(a - x)$.

Šeit mainīgs lielums x , nevis a . Spēks $P = 1^t$ nekustas, bet ņem dažādus smaguma centrus (x - šķēlienu smaguma centru attālums no koord. ass).

Tad H, V un M skaitītāji:

$$\text{no } H \text{ izteiksmes } \sum M_o \cdot \omega_y = - \sum_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} 1^t(a-x) \cdot \omega_y$$

(116. lpp.)

Šos skaitītājus (aizmirstot P refiskā pagēmiņā 1^t) var uzskatīt kā e) astīgu spēku ω_x, ω_y un ω statisko momentu sumu pret

gadījumā ērtāk lietot grafisko paņēmieni, ar to atkrīt garais analitiskā aprēķina darbs.

P i e m ē r s . (Henkel II 74.lpp.).

Šo paņēmieni var pielietot arī statiski nenoteiktas kopnes aprēķinot. Rīkojas kā ar Mohra paņēmieni pie sijas uz 2 balstiem (71.-72.lpp.). Tikai šeit par elastīgiem svāriem jāuzskata kautkas cits. Pieņem, ka piešrafētā diagonāle paliek savā vietā. Ārējiem spēkiem pieskaita arī balsta reakcijas. Pieņem, ka no slodzēšanas ir izsaukti spēki stieņos U un O. Stienis U dabon pagarinājumu Δs un tāpat dabon pieaugumu leņķis Ψ par $\Delta\Psi$. Tad balsts B padodas uz augšu par Δy_b (jo pieņem, ka šrafētais stienis paliek uz vietas). Ja katrs no stieņiem U pagarinājas, tad balsts B ceļas uz augšu; ja katrs no O stieņiem saīsinājas, tad atkal B ceļas uz augšu. Šī operācija atkārtojas šķirces, cik ir stieņu O un U. Beidzot dabon kādu y_b , par kuru balsts B ir cēlies uz augšu. No trīsstūra EFG:

$h \cdot \Delta\Psi = \Delta s$, kur h = atstatums no Rittera punkta līdz stienim, kas deformējas.

$$\Delta\Psi = \frac{\Delta s}{h}, \text{ bet: } \Delta s = \frac{S \cdot s}{E \cdot F} = \pm \frac{M \cdot s}{h \cdot E \cdot F}, \text{ jo}$$

$S = \pm \frac{M}{h}$; ($-S = \sigma$, $+S = U$). (M ir ārējo spēku lieces moments, attiecināts uz Rittera punktu).

Tad ieliekot:

$$\Delta\Psi = \pm \frac{M \cdot s}{h^2 \cdot E \cdot F}$$

Šo $\Delta\Psi$ var uzskatīt kā kādu elastīgu svaru ω .

Bet ar leņķa Ψ palielināšanu par $\Delta\Psi$, arī kopnes daļa pa labi no šrafēta stieņa pagriežas ap G par to pašu leņķi $\Delta\Psi$ un $\Delta y_b = \Delta\Psi \cdot b$. No vairākiem $\Delta\Psi$ kopā balsti ceļas vēl vairāk, tā tad vairāki Δy jāsūmē

$$y_b = \sum \Delta y_b = \sum_0^b \Delta\Psi \cdot z = \sum_0^b \pm \frac{M \cdot s}{h^2 \cdot E \cdot F} \cdot z = \sum_0^b \omega \cdot z = St_\omega \quad - \text{statiskais}$$

moments no visiem elastīgiem svāriem.

Elastīgie svāri $\Delta\Psi = \pm \frac{M \cdot s}{h^2 \cdot E \cdot F} = \omega$ jāpieliek mezglos (Rittera punktos) un ar šiem zīmē

spēku plānu ar patvaļīgu H un atbilstošu virves poligonu. Dabon punktu B' un $y_{B'}$.

Tās pašas operācijas izdara ar kreiso pusi, tad dabon:

$$y_a = \sum_0^a \pm \frac{M \cdot s}{E \cdot F \cdot h^2} \cdot x; \quad \text{tagad } y_g = y_a \frac{b}{l} + y_b \frac{a}{l}; \quad \text{viss virves poligons ir}$$

elastīga līkne.

Šis ir tuvināts paņēmieni, jo ņem vērā stieņu veidmaiņu joslās, neievērojot veidmaiņas no diagonālēm, kas iztaisa 2 + 5% no visa ieliekuma.

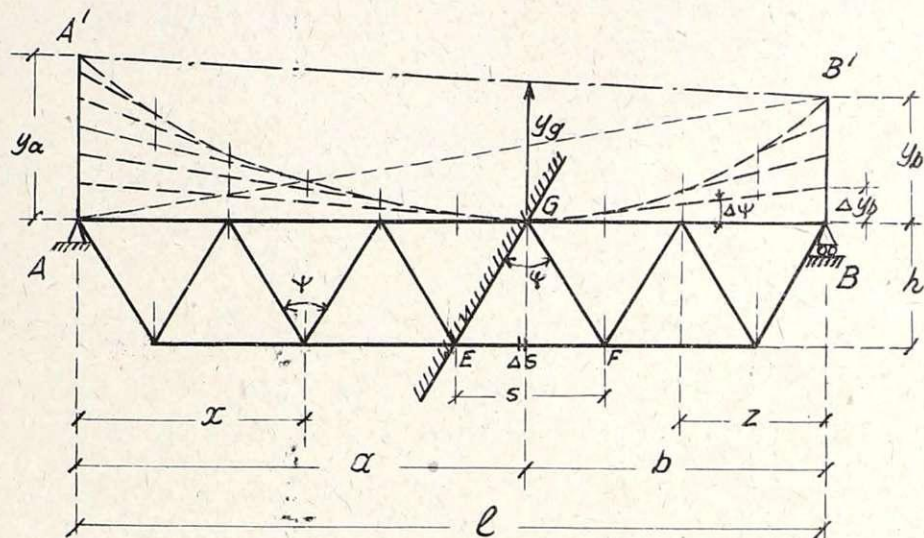
Ja vajadzīga lielāka precizitāte, tad ņem arī diagonāļu veidmaiņas. Šeit formula būs komplicētāka. $\Delta\Psi_1, \Delta\Psi_2, \Delta\Psi_3 \dots$ jāaprēķina ar visu zīmi. Kā elastīgo svaru var uzskatīt ārējā leņķa veidmaiņu.

$$\Delta W + \Delta\Psi_1 + \Delta\Psi_2 + \dots = 0 \text{ ap vienu mezglu.}$$

(Vecajam Daugavas tiltam diagonāļu veidmaiņas sastādīja 4,2% no gala rezultāta).

Pārvietojumus var vēl atrast ar Williot pārvietojumu plānu, bet to vairs nelieto, jo noteiktība maza. Neprecizitāte rodas tādēļ, ka mazam pagarinājumam Δs velk garu stāteni un stāteņu krustpunktu izmanto tālākai konstrukcijai - sakrājas kļūdas.

Pie veidmaiņas aprēķināšanas ņem vērā, ka piepūlējumi atsevišķos stieņos jāaprēķina tikai pie viena dotas slodzes novietojuma un nedrīkst ņemt maksimālus piepūlījumus katrā stienī. Jāzina, kā novietot slodzes šemu, lai dabūtu dotā punktā maksimālo ieliekumu. Parasti praksē ieliekums ir mazāks par teoretiski aprēķināto, jo



x un z mainīgi lielumi

