

IN NEDERLANDSCH-INDIË

Orgaan der Groep Ned.-Indië van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs,
Maandblad gewijd aan de Techniek en Wetenschap in Ned.-Indië,

waarin opgenomen

De Waterstaats-Ingenieur, opgericht in 1913

en

De Mijningenieur, opgericht in 1919.

Commissie van Toezicht:

Gen. L. C. A. vande Kastele,
ir. G. S. Goemans,
jhr. ir. H. S. van Lennep.

Commissie van Redactie:

Voorzitter: ir. W. F. Eijssvoogel;
Leden: dr. ir. L. J. C. van Es,
prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh.

Prijs per jaargang: f 20,—

Afzonderlijke nummers: f 2,—

Redactie-adres (zonder vermelding van persoonsnamen): Hoogeschoolweg 3, Bandoeng.

Adres voor administratie en abonnementen: Penningmeester Groep Ned.-Indië K. I. v. I., Batavia-Centrum, p/a Hollandsche Beton Maatschappij, N. V., Koningsplein Oost 15.

Adres voor advertenties: Firma G. Kolff & Co., Batavia-Centrum.

I. ALGEMEEN GEDEELTE.

INHOUD: Bepaling van de vergelijking der elastische lijn en zakkingen bij balken met behulp van fictieve steunpunten, door ir. O. Stevens. — *Personalia*. — *Kon. Inst. v. Ingenieurs*: Agenda Algemeene Vergadering. — Bestuursmededeelingen.

Bepaling van de vergelijking der elastische lijn en zakkingen bij balken met behulp van fictieve steunpunten.

door

ir. O. STEVENS,

beroepsassistent aan de Technische Hoogeschool te Bandoeng.

Aan de bestaande methoden om de zakkingen van liggers te bepalen wordt een nieuwe toegevoegd, waarvan in vele gevallen met voordeel kan worden gebruik gemaakt. Hiertoe worden de noodige *fictieve* — niet „even hoog” gelegen — steunpunten aangebracht, waarna de gezochte zakkingen worden gevonden door toepassing van de momentenvergelijking van Clapeyron. Dit wordt aan de hand van een aantal voorbeelden toegelicht.

Inleiding.

Wanneer een prismatischen ligger op twee steunpunten met een lengte l , aan de einden vrij opgelegd, over zijn volle lengte een *gelijkmatig verdeelde* belasting q t/m' draagt, zal de hoekverdraaiing φ aan de einden bedragen (zie fig. 1):

$$\varphi_l = \varphi_r = \frac{1}{24} \cdot \frac{q l^3}{E \cdot I} \dots \dots \dots (1)$$

Hierin is $E \cdot I$ de stijfheidsfactor van den ligger tegen buiging. De afleiding der formule (1) kan op zeer eenvoudige wijze plaats hebben door den ligger bijv. in L in te klemmen onder den nader te berekenen hoek φ_l . Waar deze hoek uiteraard klein is, kunnen wij schrijven:

$$f_r = \varphi_l \cdot l \dots \dots \dots (a)$$

Brengen wij nu de over de volle lengte naar beneden werkende belasting q en tevens de naar boven

werkende kracht (reactie) $\frac{1}{2} \cdot q \cdot l$ in R aan, dan is het momentenvlak identiek met dat behoorende bij den ligger aan beide einden vrij opgelegd. Aangezien nu de zakking van het punt R van den ligger nul is, moet het statisch moment van het momentvlak t.o.v. een vertikale lijn door R , gedeeld door $E \cdot I$, gelijk zijn aan f_r .

Derhalve moet:

$$f_r = \frac{1}{12} \cdot q \cdot l^3 \cdot \frac{1}{2} l \cdot \frac{1}{E \cdot I} = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} \dots \dots \dots (b)$$

Door gelijkstelling van (a) en (b) vindt men:

$$f_r = \varphi_l \cdot l = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$$

$$\text{of } \varphi_l = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} = \varphi_r$$

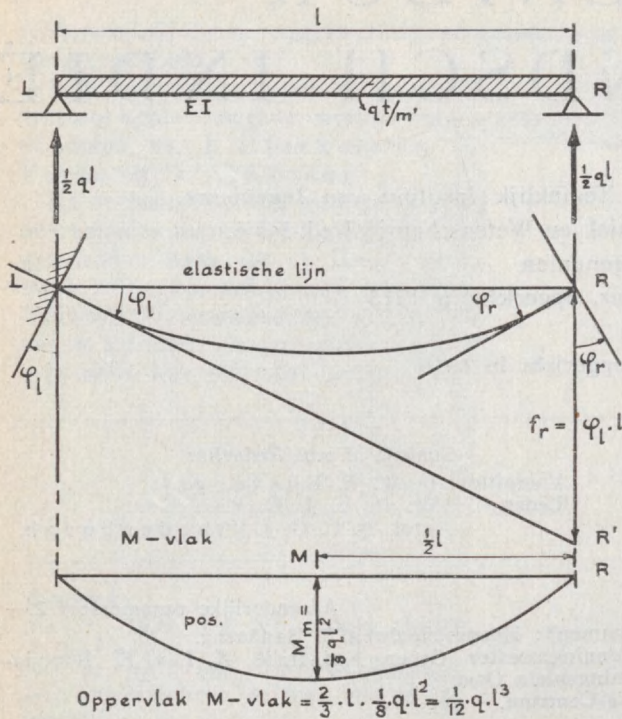


Fig. 1.

Wanneer bij een prismatischen ligger op twee steunpunten, met een lengte l en aan de einden vrij opgelegd, zich een *geconcentreerde last* P bevindt op een afstand a van de linker oplegging L en op een afstand b van de rechter oplegging R , dan is de hoekverdraaiing van het linker uiteinde (zie fig. 2):

$$\varphi_l = \frac{P \cdot b \cdot (l^2 - b^2)}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} \quad (2)$$

en van het rechter uiteinde:

$$\varphi_r = \frac{P \cdot a \cdot (l^2 - a^2)}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} \quad (3)$$

waarin $E \cdot I$ wederom de stijfheidsfactor van den ligger tegen buiging voorstelt.

De afleiding der formules (2) en (3) kan op de

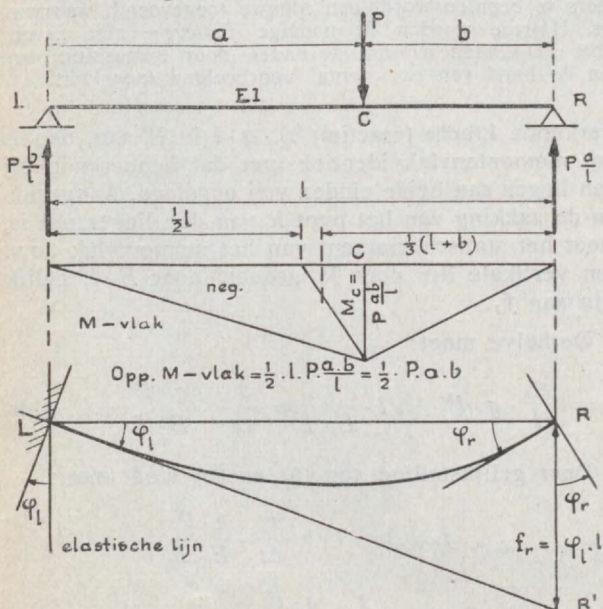


Fig. 2.

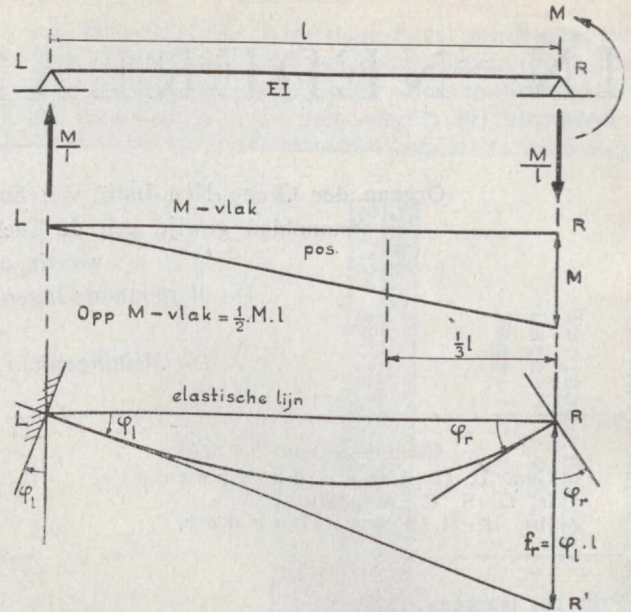


Fig. 3.

zelfde wijze plaats hebben als voor de formule (1) is geschied.

Wanneer op een prismatischen ligger op twee steunpunten met een lengte l , en aan de einden vrij opgelegd, bijv. bij de rechter oplegging R uitsluitend een *moment* M werkt (zie fig. 3), dan bedraagt de hoekverdraaiing van de linker einddoorsnede:

$$\varphi_l = \frac{1}{6} \cdot \frac{M \cdot l}{E \cdot I} \quad (4)$$

en van de rechter einddoorsnede:

$$\varphi_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot l}{E \cdot I} \quad (5)$$

De afleiding der formules (4) en (5) kan wederom op overeenkomstige wijze plaats hebben als voor de voorgaande formules.

Heeft men met een *driehoekige belasting* te doen bij een prismatischen ligger op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd, zooals in fig. 4 voorgesteld is, dan kunnen we een belastingsstrookje beschouwen ter lengte dx op een afstand x van de linker oplegging.

Het geharceerde oppervlakje stelt dan voor een

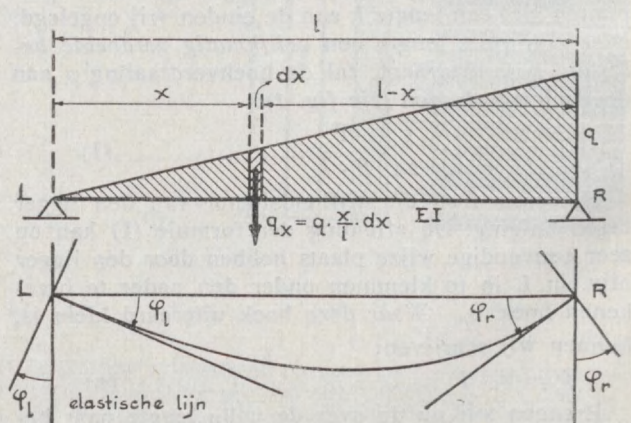


Fig. 4.

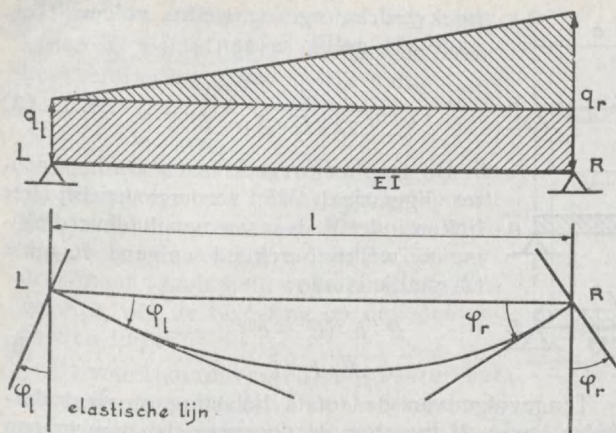


Fig. 5.

krachtje $q_x = q \cdot \frac{x}{l} \cdot dx$. Door toepassing van de formules (2) en (3) vindt men dan voor de elementaire hoekverdraaiing van het linker einde tengevolge van dit krachtje:

$$\Delta \varphi_l = \frac{q_x \cdot dx \cdot (l-x) \cdot \{l^2 - (l-x)^2\}}{6 \cdot E \cdot I \cdot l}$$

en voor het rechter uiteinde:

$$\Delta \varphi_r = \frac{q_x \cdot dx \cdot x \cdot (l^2 - x^2)}{6 \cdot E \cdot I \cdot l}$$

De totale hoekverdraaiing van het linker uiteinde is nu:

$$\varphi_l = \int_0^l \frac{q \cdot \frac{x}{l} \cdot dx \cdot (l-x) \cdot \{l^2 - (l-x)^2\}}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} = \frac{7}{360} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} \dots \dots \dots (6)$$

terwijl de totale hoekverdraaiing van het rechter uiteinde bedraagt:

$$\varphi_r = \int_0^l \frac{q \cdot \frac{x^2}{l} \cdot dx \cdot (l^2 - x^2)}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} = \frac{1}{45} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} \dots \dots \dots (7)$$

Heeft men te doen met een *trapeziumvormige belasting* zooals in fig. 5 voorgesteld is, dan kan men deze opvatten als een superpositie van een gelijkmatig verdeelde belasting en een driehoekige belasting. De hoekveranderingen aan de einden zijn dan met behulp van de voorgaande formules gemakkelijk te bepalen.

Voor een *parabolisch* dan wel *sinusvormig* verloopende belasting, kan men de hoekveranderingen van de einden van den ligger bepalen op dezelfde wijze als voor de formules (6) en (7) geschied is.

Wanneer een prismatischen ligger op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd, over een *lengte c* vanaf de rechter oplegging een *gelijkmatig verdeelde belasting q* draagt, bedraagt de hoekverandering van het linker uiteinde (zie fig. 6):

$$\varphi_l = \frac{q \cdot c^2 \cdot (2l^2 - c^2)}{24 \cdot E \cdot I \cdot l} \dots \dots \dots (8)$$

en van het rechter uiteinde:

$$\varphi_r = \frac{q \cdot c^2 \cdot (2 \cdot l - c)^2}{24 \cdot E \cdot I \cdot l} \dots \dots \dots (9)$$

De afleiding dezer formules heeft ook weer op dezelfde wijze plaats als in het voorgaande aangegeven is voor de formules (1) en (2).

Heeft men te doen met een ligger, welke slechts over een gedeelte van zijn lengte belast is, als in figuur 7, dan kan men de hoekveranderingen aan de einden berekenen, door de belasting op te vatten als een superpositie van twee belastingstoestanden n.l. de ligger belast door een positieve belasting over het deel BR, en hierbij de hoekveranderingen berekenen met behulp van de formules (8) en (9), vervolgens de ligger belast met een negatieve belasting over het deel CR. De hierbij behorende hoekveranderingen aan de einden zijn eveneens te berekenen met behulp van dezelfde formules en af te trekken van de voorgaande waarden behorende bij de positieve belasting over het deel BR.

Tenslotte zijn de hoekveranderingen voor het belastingsgeval van fig. 7 ook te berekenen op analoge wijze als voor de formules (8) en (9) is aangegeven.

Wanneer een ligger welke belast is, doorgaat over meerdere steunpunten, welke al of niet even hoog gelegen zijn, dan kan men met behulp van de momentenvergelijking van Clapeyron, de voorwaardevergelijkingen opstellen waaruit de overgangsmomenten te berekenen zijn.

Veronderstellen we eerst dat de steunpunten alle even hoog gelegen zijn, dan gaat men als volgt te werk. De balk wordt boven de steunpunten doorsneden en ter plaatse een scharnier aangebracht waardoor uitsluitend de werkingmogelijkheid van

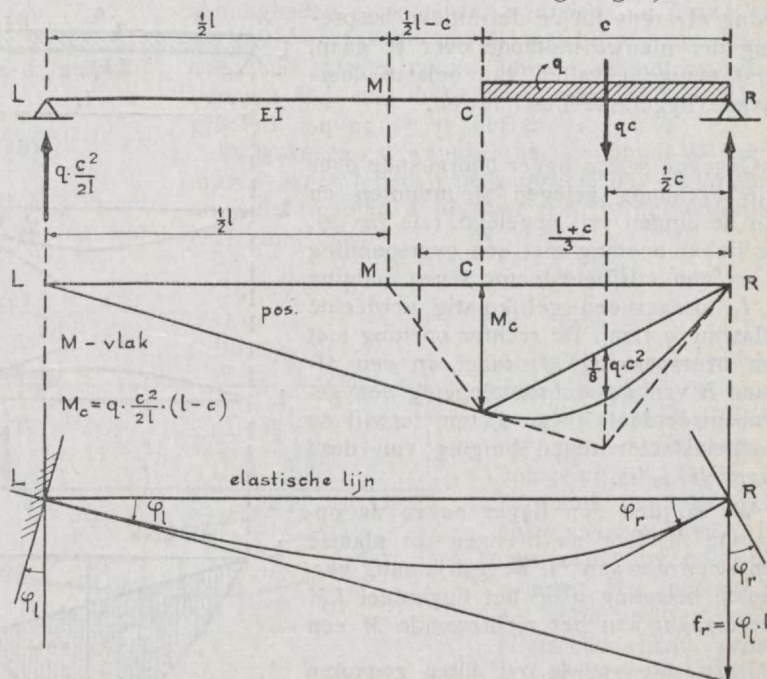


Fig. 6.

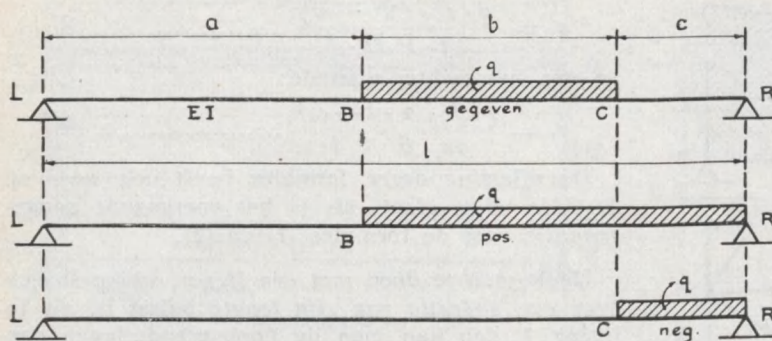


Fig. 7.

het moment, in die doorsnede, wordt opgeheven.

Tengevolge van de belasting ontstaan er nu „gapingen” tusschen de liggerdeelen boven de steunpunten, welke men weer opheft door het aanbrengen van de nog onbekende overgangsmomenten boven de steunpunten. De hieruit volgende voorwaardevergelijkingen leveren dan de waarden der overgangsmomenten, met behulp waarvan het bij de belasting behorende momentenvlak van den ligger kan worden geteekend.

Zijn de steunpunten niet evenhoog gelegen dan zullen er na doorsnijding boven de steunpunten in overigens onbelasten toestand reeds positieve dan wel negatieve gapingen optreden, al naar gelang de betreffende steunpunten hooger of lager gelegen zijn dan de ter weerszijden gelegen steunpunten. Door de belasting zullen deze gapingen dan nog vergroot dan wel verkleind worden. Het is wederom de taak der overgangsmomenten om deze gapingen op te heffen.

Waar nu de „methode der fictieve steunpunten” om zakkingen te bepalen berust op een typische toepassing van de momentenvergelijking van Clapeyron, verdient het aanbeveling alvorens tot de definitieve bespreking der nieuwe methode over te gaan, eerst eenige gevallen van belaste doorgaande liggers te beschouwen.

Gegeven is een ligger doorgaande over drie evenhoog gelegen steunpunten en aan de einden vrij opgelegd, (zie fig. 8). De linker opening met een overspanning l_1 en een stijfheidsfactor tegen buiging $E \cdot I_1$, draagt een gelijkmatig verdeelde belasting q t/m'. De rechter opening met een overspanning l_2 draagt op een afstand b van de rechteroplegging een geconcentreerde last van P ton, terwijl de stijfheidsfactor tegen buiging van deze ligger $E \cdot I_2$ is.

We snijden den ligger boven de oplegging M door en brengen ter plaatse een scharnier aan *). De gelijkmatig verdeelde belasting q op het liggerdeel LM veroorzaakt aan het rechteinde M een

*) In het vervolg zal alleen gesproken worden van „doorsnijden,” terwijl het dan vanzelfsprekend zal zijn dat er ook tevens een scharnier aangebracht wordt.

hoekverdraaiing φ_1 welke volgens formule (1) gelijk is aan:

$$\varphi_1 = \frac{I}{24} \cdot \frac{q \cdot l_1^3}{E \cdot I_1} \dots\dots\dots (a)$$

De geconcentreerde last P op het rechter liggerdeel MR veroorzaakt bij het linkereinde M daarvan een hoekverdraaiing φ_2 welke berekend volgens formule (2) gelijk is aan:

$$\varphi_2 = \frac{P \cdot b \cdot (l_2^2 - b^2)}{6 \cdot E \cdot I_2 \cdot l_2} \dots\dots\dots (b)$$

Tengevolge van de totale belasting ontstaat derhalve boven M tusschen de doorsneden liggers een positieve gaping φ welke gelijk is aan:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$$

Waar nu de ligger boven M doorgaand is rust op het overgangsmoment M_m de taak deze „gaping” weer op te heffen.

Het overgangsmoment M_m werkende op het linker liggerdeel LM veroorzaakt nu een hoekverdraaiing ψ_1 van het rechteinde M , welke berekend kan worden met behulp van de formule (5) en derhalve gelijk is aan:

$$\psi_1 = \frac{I}{3} \cdot \frac{M_m \cdot l_1}{E \cdot I_1} \dots\dots\dots (c)$$

Waar nu het overgangsmoment evenzoo op het rechter liggerdeel MR werkt, zal het linker einde M een hoekverdraaiing ψ_2 ondergaan van:

$$\psi_2 = \frac{I}{3} \cdot \frac{M_m \cdot l_2}{E \cdot I_2} \dots\dots\dots (d)$$

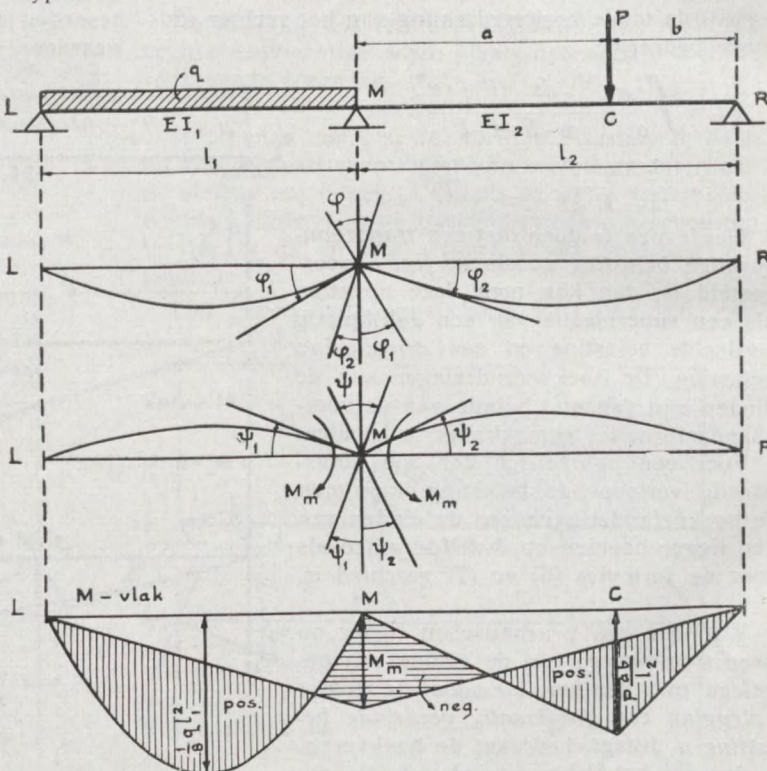


Fig. 8.

Door het overgangsmoment M_m werkende op beide liggerdeelen is de totale hoekverdraaiing ψ nu gelijk aan:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2$$

De hoekverdraaiingen volgens (c) en (d) tengevolge van het overgangsmoment M_m hebben uiteraard plaats in een richting welke tegensteld is aan de hoekverdraaiingen (gapingen) welke ontstaan tengevolge van de belasting op den doorgesneden ligger.

De voorwaardenvergelijking waaruit het overgangsmoment M_m te berekenen is volgt, zooals reeds opgemerkt werd, uit het feit dat de ligger boven M doorgaand is, derhalve moet de ontstane gaping weder opgeheven worden, d.w.z.:

$$\varphi = \psi$$

zoodat:

$$\frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l_1^3}{E \cdot I_1} + \frac{P \cdot b \cdot (l_2^2 - b^2)}{6 \cdot E \cdot I_2 \cdot l_2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_m \cdot l_1}{E \cdot I_1} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_m \cdot l_2}{E \cdot I_2} \quad (10)$$

Hieruit is het overgangsmoment M_m zonder meer te berekenen, terwijl daarna het momentenvlak geconstrueerd kan worden (zie fig. 8).

We zullen nu het geval beschouwen waarbij de drie steunpunten van voorgaande ligger *niet even* hoog gelegen zijn, doch het steunpunt M bijv. een bedrag δ te hoog gelegen is (zie fig. 9).

Snijden we den ligger wederom boven M door, dan is het rechter liggereinde van LM reeds over een hoek α_1 gedraaid, welke gelijk is aan:

$$\alpha_1 = \frac{\delta}{l_1} \quad (a)$$

en het linker liggereinde van MR is reeds gedraaid over een hoek α_2 welke gelijk is aan:

$$\alpha_2 = \frac{\delta}{l_2} \quad (b)$$

In totaal is dus in onbelasten en doorgesneden toestand van den ligger een „initiale” gaping aanwezig welke gelijk is aan:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (c)$$

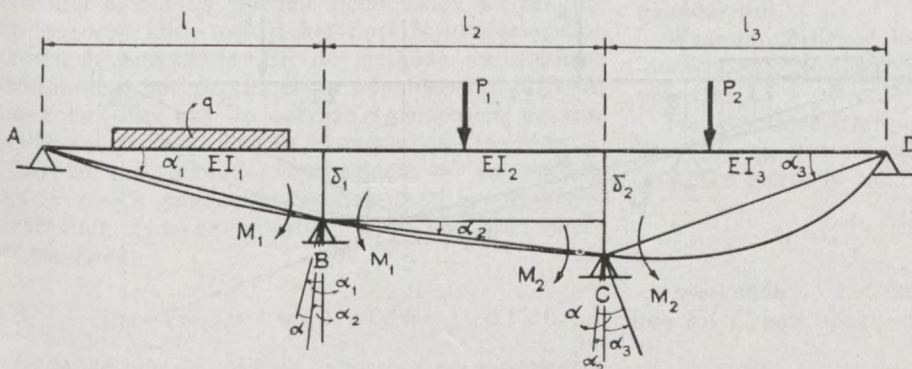


Fig. 9a.

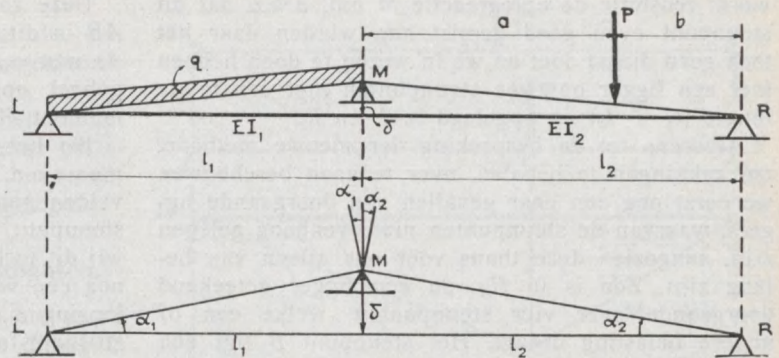


Fig. 9.

Door de belasting, welke nu op den ligger aangebracht wordt, zal deze gaping nog worden vergroot met een bedrag:

$$\varphi = \varphi_2 + \varphi_2 \quad (d)$$

zoodat de totale gaping alsdan is:

$$\alpha + \varphi \quad (e)$$

Deze gaping nu, moet wederom opgeheven worden door het overgangsmoment M_m werkende op beide liggerdeelen.

Het feit nu dat de ligger boven M doorgaand is, levert de voorwaardevergelijking waaruit M_m te berekenen is, nml.:

$$\alpha + \varphi = \psi \quad (f)$$

zoodat:

$$\frac{\delta}{l_1} + \frac{\delta}{l_2} + \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l_1^3}{E \cdot I_1} + \frac{P \cdot b \cdot (l_2^2 - b^2)}{6 \cdot E \cdot I_2 \cdot l_2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_m \cdot l_1}{E \cdot I_1} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_m \cdot l_2}{E \cdot I_2} \quad (11)$$

Uit deze vergelijking is M_m op te lossen.

Het is gemakkelijk in te zien dat de hieruit volgende waarde van M_m , onder overigens gelijke omstandigheden, grooter zal zijn dan die welke volgt uit het voorgaande geval, waarbij de steunpunten evenhoog gelegen waren. Immers op het overgangsmoment M_m rust thans een zwaardere taak n.l. een grootere gaping op te heffen.

Omgekeerd zal wanneer het steunpunt M een bedrag δ lager ligt dan de aangrenzende steunpunten, de initiale gaping α *negatief* zijn. In de vergelijking (11) moet dus:

$$\alpha = -\frac{\delta}{l_1} + \frac{\delta}{l_2}$$

negatief ingevoerd worden, terwijl het overgangsmoment M_m kleiner zal worden naarmate de oplegging M_m lager ligt. Wanneer de beschouwde oplegging voldoende laag ligt, wordt het overgangsmoment M_m nul en kan het zelfs positief worden. Hiermede gaat gepaard een afname van de grootte der oplegreactie M . Bij een bepaalde waarde van δ

wordt tenslotte de oplegreactie M nul, d.w.z. dat dit steunpunt even goed gemist kan worden daar het toch geen dienst doet en we in wezen te doen hebben met een ligger op twee steunpunten met een totale lengte $(l_1 + l_2)$ en opgelegd in L en R .

Alvorens tot de bespreking der nieuwe methode, om zakkingen te bepalen, over te gaan beschouwen we eerst nog een paar gevallen van doorgaande liggers, waarvan de steunpunten niet evenhoog gelegen zijn, aangezien deze thans voor ons alleen van belang zijn. Zoo is in *fig. 9a* een ligger geteekend doorgaande over vier steunpunten, welke een of andere belasting draagt. Het steunpunt B ligt een bedrag δ_1 en het steunpunt C een bedrag δ_2 te laag, waarbij $\delta_2 > \delta_1$. Snijden we den ligger boven B en C door, dan zal in onbelasten toestand de ligger boven B een initiale gaping α vertoonen welke gelijk is aan:

$$\alpha = \frac{\delta_1}{l_1} - \frac{\delta_2 - \delta_1}{l_2}$$

Brengen we nu de belasting aan in de velden AB en BC dan zal deze gaping verminderd worden met een bedrag: φ . Op de overgangsmomenten M_1 en M_2 rust nu de taak de resterende gaping geheel op te heffen, zoodat de ligger boven B doorgaand wordt.

Dezelfde beschouwing kunnen we nu houden voor het steunpunt C . De initiale gaping α is nu:

$$\alpha = \frac{\delta_2 - \delta_1}{l_2} + \frac{\delta_2}{l_3}$$

Door de belasting op de velden BC en CD wordt deze verminderd met een bedrag φ , terwijl het resterende bedrag der gaping opgeheven moet worden door de overgangsmomenten M_1 en M_2 . Op deze wijze kunnen wij dus twee voorwaardevergelijkingen opstellen, die de overgangsmomenten M_1 en M_2 als onbekenden bevat en dus te bepalen zijn.

Tenslotte beschouwen we nog het geval van een ligger op vier steunpunten, welke niet evenhoog gelegen zijn, doch waarvan de oplegging A een volkomen inklemming is (zie *fig. 9b*). We snijden den ligger nu door bij A en boven B en C .

In onbelasten toestand van den ligger treedt er bij A een gaping α_1 op welke gelijk is aan:

$$\alpha_1 = \frac{\delta_1}{l_1}$$

Deze gaping wordt door de belasting op het veld AB in dit geval vermeerderd (daar B lager ligt dan A) met een bedrag φ . Deze totale gaping moet nu geheel opgeheven worden door het inklemmingsmoment M_1 en het overgangsmoment M_2 .

Bij het opstellen van de vergelijking van Clapeyron, beschouwen we gewoonlijk de beide velden gelegen ter weerszijden van het betreffende steunpunt, behalve bij een inklemming. Wenschen wij dit toch te doen dan kunnen we dus links van A nog een veld denken, al of niet belast, met een oplegging E , evenhoog gelegen als A , maar met een stijfheidsfactor welke oneindig groot is of ook met een lengte nul. De invloed van dit veld is dan nul, zoodat het even goed vervallen kan.

We nemen nu het steunpunt B in beschouwing. De initiale gaping α is nu:

$$\alpha = \frac{\delta_1}{l_1} - \frac{\delta_2 - \delta_1}{l_2}$$

Deze wordt verminderd met een bedrag φ als gevolg van de belasting op de velden AB en BC . Op het inklemmingsmoment M_1 en de overgangsmomenten M_2 en M_3 rust thans de taak de resterende gaping op te heffen.

Dezelfde beschouwing kan nu gehouden worden voor het steunpunt C .

Op deze wijze kunnen wij nu drie voorwaardenvergelijkingen opstellen die de overgangsmomenten M_1 , M_2 en M_3 als onbekenden bevat, die derhalve eruit te bepalen zijn.

Bij het geval van *fig. 9a* kunnen we ons voorts nog voorstellen dat bij de gegeven belasting de steunpunten B en C zoodanig gelegen zijn dat de oplegreacties hiervoor nul zijn, d.w.z. dat deze steunpunten even goed gemist kunnen worden en we in wezen dan te doen hebben met een ligger op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd. Uiteraard zijn dan alle momenten dus ook de overgangsmomenten positief.

Zoo ook voor het geval van *fig. 9b* is het denkbaar dat weer bij de gegeven belasting, de reacties voor B en C nul zijn, waardoor wij in wezen dan te doen hebben met een ligger eenzijdig volkomen ingeklemd en aan het andere einde vrij opgelegd. De constructie is dan statisch onbepaald en de momenten dus ook overgangsmomenten kunnen positief dan wel negatief zijn.

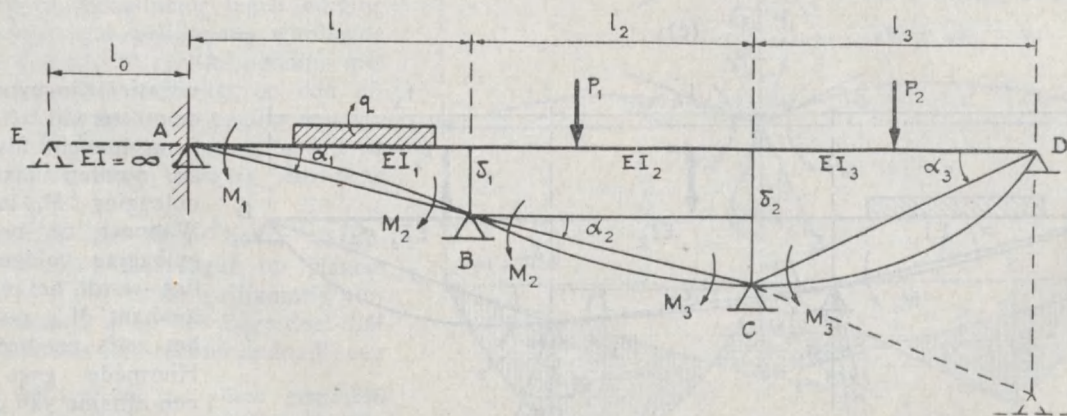


Fig. 9b.

Is ook voor het steunpunt D de reactie nul, dan hebben we te doen met een eenzijdig ingeklemde ligger, welke constructie statisch bepaald is, terwijl alle momenten dus ook de overgangsmomenten negatief zijn. Echter zal het bij de geteekende belasting van fig. 9b wel noodzakelijk zijn, dat het steunpunt D dan lager ligt dan de andere opleggingen.

Principe der methode der fictieve steunpunten.

Na de voorgaande inleiding is het thans niet meer moeilijk het principe der nieuwe methode uiteen te zetten.

Immers: wenscht men bijv. bij een ligger op twee steunpunten, welke op een of andere wijze belast is, de zakking δ in een of ander punt X te bepalen dan kan men, nadat het momentenvlak behoorende bij de belasting bepaald is, op de nog onbekende afstand δ onder X , een „fictief” steunpunt aanbrengen. We krijgen dan eigenlijk een ligger doorgaande over drie steunpunten, waarvan het karakteristieke is dat voor dit fictieve steunpunt de oplegreactie nul is, hetgeen zonder meer duidelijk is. Dit is dus het geval waarop in het voorgaande gezinspeeld is.

Voor deze ligger op drie steunpunten kunnen wij nu zonder meer de momentenvergelijking van Clapeyron opschrijven. De voorwaardevergelijking die wij dan opstellen bevat als eenige onbekende de gevraagde zakking δ onder X , terwijl de momenten dus ook het z.g. „overgangsmoment” in de doorsnede X bekend zijn, uit het bij de belasting behoorende momentenvlak van den ligger.

In het volgende zal aan de hand van een aantal voorbeelden de werkwijze uiteen gezet worden terwijl tevens aangetoond zal worden, dat de toepassing der methode niet beperkt blijft tot statisch bepaalde liggers (op twee steunpunten of eenzijdig ingeklemd) maar ook met vrucht aangewend kan worden bij het bepalen van de zakking in punten van statisch onbepaalde constructies (liggers, portalen, e.d.), mits vooraf het bij de belasting behoorende momentenvlak van de constructie bepaald is.

Het zal dan tevens blijken dat de nieuwe methode in bepaalde gevallen te verkiezen is boven de tot hiertoe gebruikelijke reeds bestaande methoden, doordat zij sneller tot het doel voert.

Volledigheidshalve wordt er nog op gewezen dat de toepassing van de momentenvergelijking van Clapeyron voor liggers doorgaande over meerdere niet evenhoog gelegen steunpunten de zakkingen gegeven zijn, terwijl het doel is overgangsmomenten te berekenen. Bij de methode der fictieve steunpunten, om zakkingen te bepalen zijn juist de momenten, dus ook de overgangsmomenten, bekend terwijl nu de zakkingen berekend moeten worden.

Bij de nu volgende voorbeelden zal de initiale gaping steeds aangeduid worden met α , de hoekverdraaiing door de belasting φ en door het overgangsmoment ψ .

A. Liggers op twee steunpunten.

Bepaling van de zakking onder een geconcentreerde last P staande op een prismatischen ligger (EI

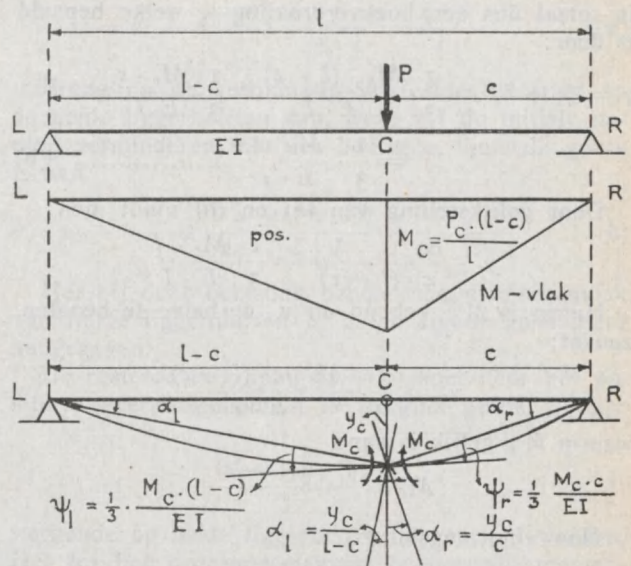


Fig. 10.

constant) op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd (zie fig. 10).

Boven het punt C van den ligger LR staat een last P op een afstand c van R . Het momentenvlak verloopt, zooals bekend, driehoekig met een maximum ordinaat onder den last, welke gelijk is aan M_c zoodanig dat:

$$M_c = \frac{P \cdot c \cdot (l - c)}{l}$$

Tengevolge van de belasting op den ligger zal het punt C onder den last P van de oorspronkelijk rechte balks zakken over een afstand y_c . Op dezen afstand onder de oorspronkelijke ligging van het punt C brengt men een fictief steunpunt aan. We krijgen dan een ligger doorgaande over drie steunpunten. We snijden nu den ligger boven het fictieve steunpunt door. In onbelasten toestand vertoont de ligger dus boven dit fictieve steunpunt een initiale negatieve gaping α , welke gelijk is aan:

$$\alpha = \alpha_l + \alpha_r = \frac{y_c}{c} + \frac{y_c}{l-c} = y_c \cdot \frac{l}{c(l-c)} \dots\dots\dots(a)$$

Zetten we nu onder deze omstandigheden den last P in het punt C op den ligger, dan zal deze initiale gaping in dit geval noch vergroot, noch verkleind worden, d.w.z. in dit bijzondere geval is φ (zie voorgaande) nul.

Waar nu de ligger doorgaand is, zal het overgangsmoment, d.i. M_c , deze negatieve gaping weer moeten opheffen.

Het positieve overgangsmoment M_c werkt op het deel LC en veroorzaakt bij C een hoekverdraaiing ψ_l , welke gelijk is aan:

$$\psi_l = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_c \cdot (l - c)}{E \cdot I}$$

en werkende op het deel CR , veroorzaakt het evenzoo bij C een hoekverdraaiing:

$$\psi_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_c \cdot c}{E \cdot I}$$

in totaal dus een hoekverdraaiing ψ , welke bepaald is door:

$$\psi = \psi_l + \psi_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_c \cdot (l-c)}{E \cdot I} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_c \cdot c}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_c \cdot l}{E \cdot I} \dots \dots \dots (b)$$

Door gelijkstelling van (a) en (b) vindt men:

$$y_c \cdot \frac{l}{c \cdot (l-c)} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_c \cdot l}{E \cdot I}$$

Hierin is M_c bekend en y_c derhalve te bepalen, zoodat:

$$y_c = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_c \cdot c \cdot (l-c)}{E \cdot I}$$

waarin M_c gelijk is aan:

$$M_c = \frac{P \cdot c \cdot (l-c)}{l}$$

Men vindt tenslotte:

$$y_c = \frac{P \cdot c^2 \cdot (l-c)^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot l} \dots \dots \dots (I)$$

Bepaling van de zakking in een punt X van een prismatischen ligger op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd, welke belast wordt door een geconcentreerden last P in een punt C, (zie fig. 11).

We bepalen allereerst het bij de belasting van den ligger behorende momentenvlak. Tengevolge van de belasting zal het punt X van den in onbelasten toestand rechten ligger een zakking y_x ondergaan. Op dezen afstand onder het punt X van den ligger brengen wij nu een fictief steunpunt aan, en snijden den ligger boven dit punt door. De initiale negatieve gaping is nu:

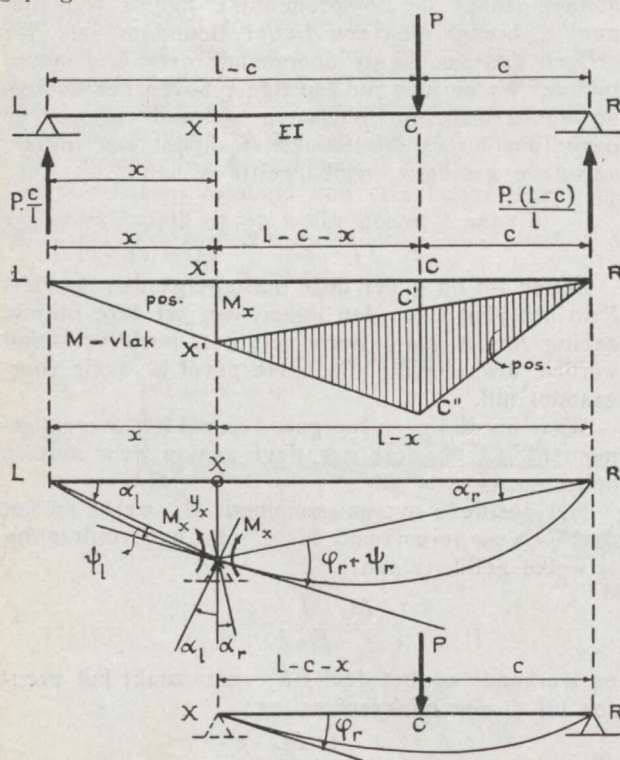


Fig. 11.

$$\alpha = \alpha_l + \alpha_r = \frac{y_x}{x} + \frac{y_x}{l-x} = y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l-x)} \dots (a)$$

Brengen we nu de last P in C aan, dan blijft het linker deel LX onbelast en zal er dus geen verdraaiing van het rechter einde X van het liggerdeel LX optreden. Daarentegen zal het linker einde X van het liggerdeel XR onder invloed van den daarop staanden last P een draaiing φ_r krijgen, zoodat tengevolge daarvan aldaar een positieve gaping zal ontstaan, welke gelijk is aan:

$$\varphi_r = \frac{P \cdot c \cdot [(l-x)^2 - c^2]}{6 \cdot E \cdot I \cdot (l-x)} \dots \dots \dots (b)$$

en de negatieve gaping (initiale) α vermindert.

Het momentenvlak voor het liggerdeel XR behorende bij den daarop staanden last P wordt voorgesteld door het in fig. 11 geharceerde deel X'C'RC''X' van het totale momentenvlak. Het is zonder meer duidelijk dat het overblijvende deel LXX'L voorstelt het momentenvlak tengevolge van het positieve overgangsmoment M_x , dat gelijk is aan:

$$M_x = P \cdot \frac{c}{l} \cdot x$$

Dit overgangsmoment M_x werkende op het deel LX zoowel als op het deel XR heft de resteerende negatieve gaping op, zoodat de ligger weer doorgaand is. De door M_x bewerkstelligde totale hoekverdraaiing ψ is dan:

$$\psi = \psi_l + \psi_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot x}{E \cdot I} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot (l-x)}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot l}{E \cdot I} \dots \dots \dots (c)$$

zoodat de voorwaardenvergelijking waaruit y_x bepaald kan worden is:

$$y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l-x)} - \frac{P \cdot c \cdot [(l-x)^2 - c^2]}{6 \cdot E \cdot I \cdot (l-x)} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot l}{E \cdot I}$$

Substitueeren wij hierin nog de bekende waarde voor M_x , dan vinden we tenslotte voor de zakking in X:

$$y_x = \frac{P \cdot c \cdot x \cdot (l^2 - c^2 - x^2)}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} \dots \dots \dots (II)$$

De vergelijking (II) stelt niets anders voor dan de vergelijking van den linker tak LC der elastische lijn van den ligger, behorende bij het beschouwde belastingsgeval.

Bepaling van de zakking van het midden van een ligger op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd, wanneer zich ter plaatse van dat midden een geconcentreerden last P bevindt, terwijl de stijfheidsfactor tegen buiging van de rechter liggerhelft n maal zoo groot is als van de linker liggerhelft, (zie fig. 12).

Noem de zakking van het punt C van den ligger tengevolge van de belasting y_c . Breng op dien afstand onder C een fictief steunpunt aan, dan is in doorsgesneden stand de initiale negatieve gaping:

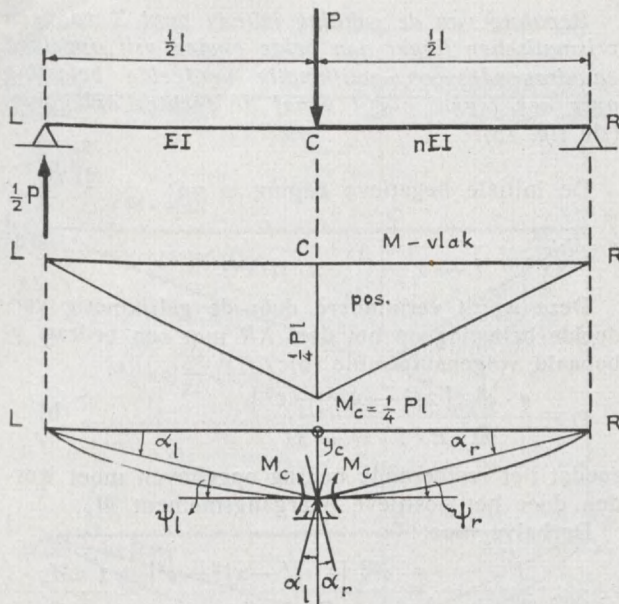


Fig. 12.

$$\alpha = \alpha_l + \alpha_r = 2 \cdot \frac{y_c}{\frac{1}{2} \cdot l} = \frac{4 \cdot y_c}{l} \dots \dots \dots (a)$$

Brengt men den last P aan, dan wordt deze gaping noch vergroot noch verkleind. Het overgangsmoment M_c is nu:

$$M_c = \frac{1}{4} \cdot P \cdot l$$

Dit overgangsmoment werkende op de beide liggerhelften heft de gaping α weer op, zoodat:

$$\psi = \psi_l + \psi_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_c \cdot \frac{1}{2} \cdot l}{E \cdot I} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_c \cdot \frac{1}{2} \cdot l}{n \cdot E \cdot I} \dots \dots \dots (b)$$

gelijk moet zijn aan α .

Derhalve is:

$$\frac{4 \cdot y_c}{l} = \frac{1}{6} \cdot \frac{M_c \cdot l}{E \cdot I} \cdot \left(1 + \frac{1}{n} \right) \text{ of}$$

$$y_c = \frac{1}{24} \cdot \frac{M_c \cdot l^3}{E \cdot I} \cdot \left(1 + \frac{1}{n} \right)$$

Substitueeren we hierin de waarde voor M_c , dan vinden we voor de gevraagde zakking y_c :

$$y_c = \frac{1}{96} \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I} \cdot \left(1 + \frac{1}{n} \right) \dots \dots \dots (III)$$

Bepaling van de maximum zakking in het midden van een prismatischen ligger op twee steunpunten aan beide einden vrij opgelegd en dragende een gelijkmatig verdeelde belasting over de volle lengte, (zie fig. 13).

Stel de gevraagde zakking is gelijk aan f . Breng op dien afstand onder C een fictief steunpunt aan en snijdt hierboven den ligger door. In onbelasten toestand bedraagt de initiale negatieve gaping α en is gelijk aan:

$$\alpha = \alpha_l + \alpha_r = 2 \cdot \frac{f}{\frac{1}{2} \cdot l} = \frac{4 \cdot f}{l} \dots \dots \dots (a)$$

Breng nu de gelijkmatig verdeelde belasting op de beide liggerhelften aan. Deze zal de initiale gaping verminderen met een bedrag φ , hetwelk gelijk is aan:

$$\varphi = \varphi_l + \varphi_r = 2 \cdot \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot (\frac{1}{2} \cdot l)^3}{E \cdot I} = \frac{1}{96} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} \dots \dots \dots (b)$$

Het bij deze belasting behorende momentenvlak van beide liggerhelften is in de figuur geharceerd aangegeven.

De resteerende gaping $(\alpha - \varphi)$ moet door het positieve overgangsmoment M hetwelk gelijk is aan:

$$M = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2$$

werkende op beide liggerhelften opgeheven worden. Het bij het overgangsmoment behorende momentenvlak wordt voorgesteld door het overblijvende driehoekige deel $LCRC'L$ van het totale momentenvlak. Derhalve moet:

$$\alpha - \varphi = \psi$$

waarbij ψ gelijk is aan:

$$\psi = \psi_l + \psi_r = 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot \frac{1}{2} \cdot l}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot l}{E \cdot I}$$

zoodat nu:

$$\frac{4 \cdot f}{l} - \frac{1}{96} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot l}{E \cdot I}$$

of:

$$f = \frac{1}{12} \cdot \frac{M \cdot l^2}{E \cdot I} + \frac{1}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Substitueeren we hierin de bekende waarde van het overgangsmoment M , nml. $M = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2$, dan vinden we voor f :

$$f = \frac{1}{96} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} + \frac{1}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$$

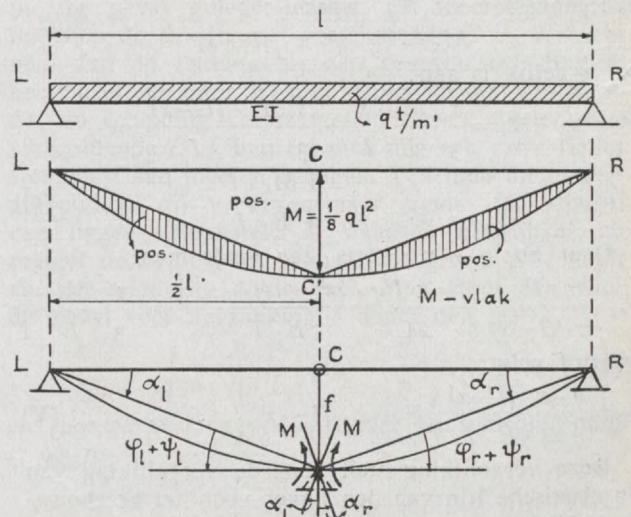


Fig. 13.

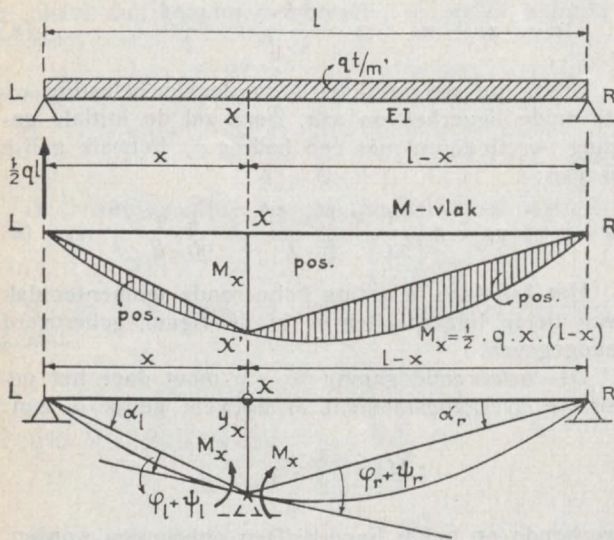


Fig. 14.

of:

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} \dots \dots \dots \text{(IV)}$$

Bepaling van de zakking in een willekeurig punt X van een prismatischen ligger op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd en belast door een gelijkmatig verdeelde belasting over de volle lengte, (zie fig. 14).

De initiale negatieve gaping α is nu:

$$\alpha = \alpha_l + \alpha_r = \frac{y_x}{x} + \frac{y_x}{l-x} = y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l-x)} \dots \dots \text{(a)}$$

Door de belasting wordt zij verminderd met een bedrag φ waarbij:

$$\varphi = \varphi_l + \varphi_r = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot x^3}{E \cdot I} + \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot (l-x)^3}{E \cdot I}$$

of:

$$\varphi = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \{x^3 + (l-x)^3\}}{E \cdot I} \dots \dots \dots \text{(b)}$$

De resteerende gaping wordt opgeheven door het overgangsmoment M_x waarbij:

$$M_x = \frac{1}{2} \cdot q \cdot x \cdot (l-x)$$

en ψ gelijk is aan:

$$\psi = \psi_l + \psi_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot x}{E \cdot I} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot (l-x)}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot l}{E \cdot I} \dots \dots \dots \text{(c)}$$

Daar nu: $\alpha - \varphi = \psi$ is, zoo vindt men:

$$y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l-x)} - \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot [x^3 + (l-x)^3]}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot l}{E \cdot I}$$

waaruit volgt:

$$y_x = \frac{q \cdot x \cdot (l-x)}{24 \cdot E \cdot I} \left\{ l^2 + x \cdot (l-x) \right\} \dots \dots \dots \text{(V)}$$

Deze vergelijking stelt voor de vergelijking van de elastische lijn van den ligger voor het beschouwde belastingsgeval.

Bepaling van de zakking in een punt X van een prismatischen ligger aan beide einden vrij opgelegd en dragende een gelijkmatig verdeelde belasting over een lengte $c < l$ vanaf de rechter oplegging, (zie fig. 15).

De initiale negatieve gaping is nu:

$$\alpha = \frac{y_x}{x} + \frac{y_x}{l-x} = y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l-x)} \dots \dots \dots \text{(a)}$$

Deze wordt verminderd door de gelijkmatig verdeelde belasting op het deel XR met een bedrag φ_l bepaald volgens formule (6):

$$\varphi_l = \frac{q \cdot c^2 \cdot [2(l-x)^2 - c^2]}{24 \cdot E \cdot I \cdot (l-x)} \dots \dots \dots \text{(b)}$$

zoodat het resteerende bedrag opgeheven moet worden door het positieve overgangsmoment M_x .

Derhalve moet:

$$y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l-x)} - \frac{q \cdot c^2 \cdot [2 \cdot (l-x)^2 - c^2]}{24 \cdot E \cdot I \cdot (l-x)} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot l}{E \cdot I}$$

Hierin is:

$$M_x = q \cdot \frac{c^2}{2 \cdot l} \cdot x$$

Men vindt dan voor de zakking onder X:

$$y_x = \frac{q \cdot c^2 \cdot x}{24 \cdot E \cdot I \cdot l} (2l^2 - 2x^2 - c^2) \dots \dots \dots \text{(VI)}$$

Deze vergelijking stelt voor de vergelijking van de linker tak LC van de elastische lijn van den ligger voor het belastingsgeval als voorgesteld in figuur 15.

Op overeenkomstige wijze kan men nu de vergelijking afleiden voor den rechter tak CR der elastische lijn.

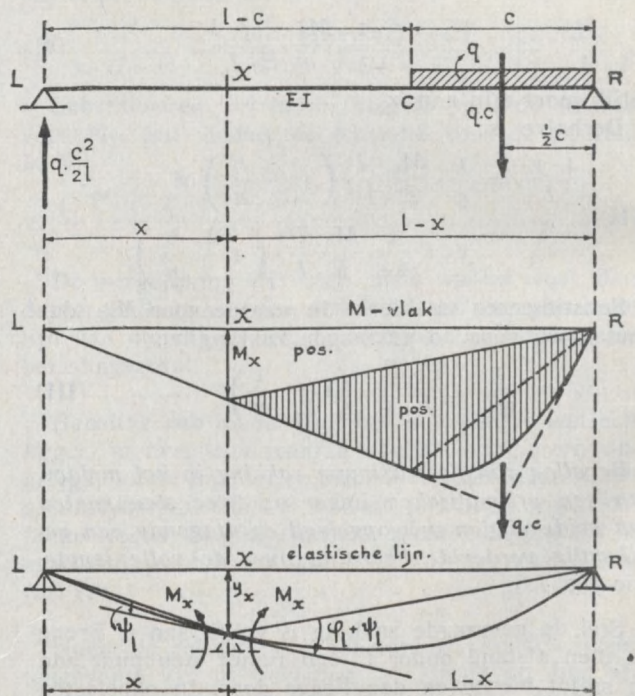


Fig. 15.

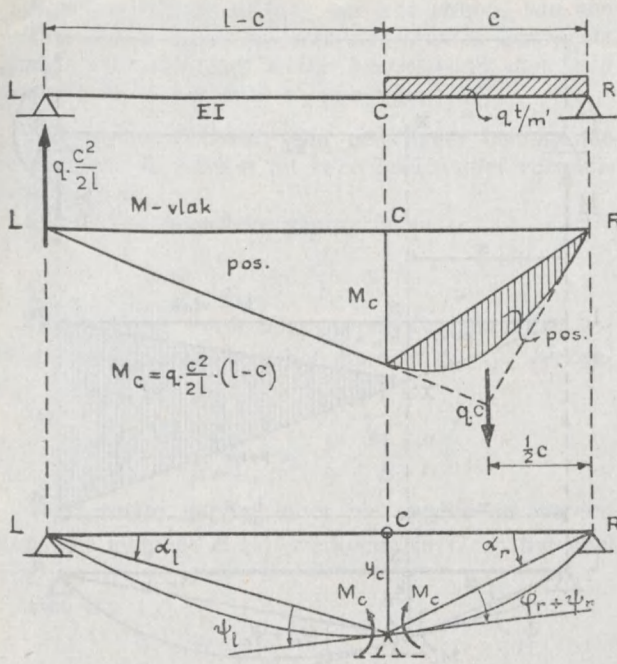


Fig. 16.

Opmerking:

In de tot hiertoe behandelde voorbeelden konden wij volstaan met de aanname van een enkel fictief steunpunt. De kennis van meer ingewikkelde formules is daarbij onontbeerlijk, zooals bij het geval van *figuur 15*.

Het zal echter zonder meer duidelijk zijn, dat het volstrekt geen bezwaar oplevert meerdere, in het algemeen twee fictieve steunpunten, aan te nemen wanneer zulks ons wenschelijk voorkomt.

Zoo kunnen wij in het geval van *figuur 15* een fictief steunpunt aannemen onder *X* en evenzoo onder *C*. We kunnen dan met de kennis van de formule (1) volstaan, en krijgen dan een ligger doorgaande over vier steunpunten. We moeten dan ech-

ter verder rekenen met twee positieve overgangsmomenten nml. M_x en M_c .

Nemen we nu twee fictieve steunpunten aan dan is het aan te bevelen, teneinde het cijferwerk eenvoudig te houden, eerst de zakking y_c onder *C* rechtstreeks te bepalen op de wijze als in *figuur 16* is aan gegeven en daarna met behulp daarvan de zakking y_x onder *X* te bepalen, zooals in *figuur 17* duidelijk gemaakt is.

Hetzelfde hadden wij ook kunnen doen bij de bepaling van de zakking y_x in een punt *X* van den ligger van *figuur 11*, teneinde hierbij de formules (2) en (3) te ontloopen. Ook in dit geval kunnen we twee fictieve steunpunten aannemen nml. onder *X* en onder *C*, waarbij wij eerst de zakking y_c onder *C* bepalen zooals in *fig. 10* is aangegeven, en met de kennis daarvan de zakking y_x onder *X* berekenen, (zie *figuur 18*).

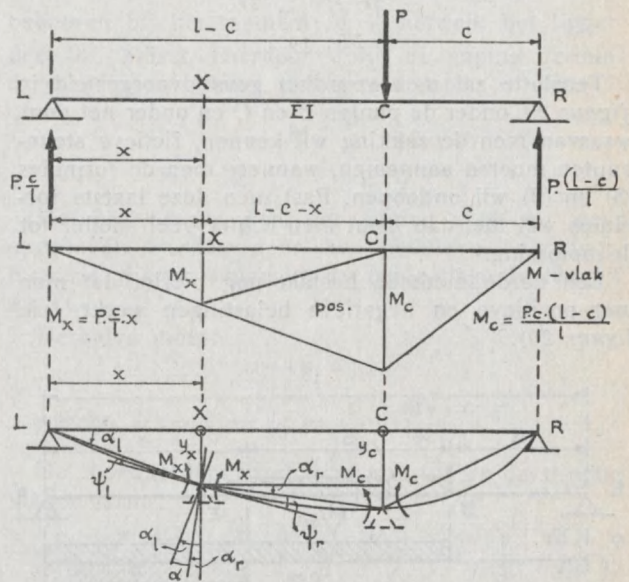


Fig. 18.

De aanname van meerdere fictieve steunpunten is bijv. aangewezen in gevallen waarbij de stijfheidsfactor tegen buiging van den ligger sprongsgewijze varieert. De plaats der fictieve steunpunten is dan in elk geval gelegen onder de scheidingspunten tusschen de deelen met verschillende $E \cdot I$. Wensch men dan de zakking bij een gegeven belasting te kennen in een punt dat niet samenvalt met een punt, dat de scheiding vormt tusschen twee deelen met verschillende $E \cdot I$, dan zal men nog een extra fictief steunpunt aan moeten brengen. Teneinde dit te verduidelijken, zij verwezen naar *figuur 19*, waarbij een ligger voorgesteld is waarvan het linker en rechter derde deel een n maal zoo groote $E \cdot I$ heeft als het middelste derde deel. Men vindt dan voor dit geval voor de zakking f onder den last:

$$f = \frac{1}{1296} \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I} \cdot \left(19 + \frac{8}{n}\right) \dots\dots\dots (VII)$$

en voor de zakking y_c (y_d) onder een scheidingspunt *C* (of *D*):

$$y_c = \frac{1}{1296} \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I} \cdot \left(15 + \frac{8}{n}\right) \dots\dots\dots (VIII)$$

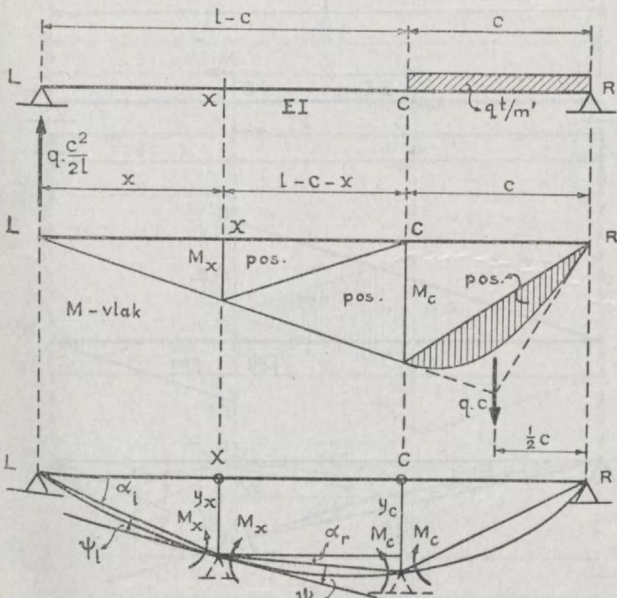


Fig. 17.

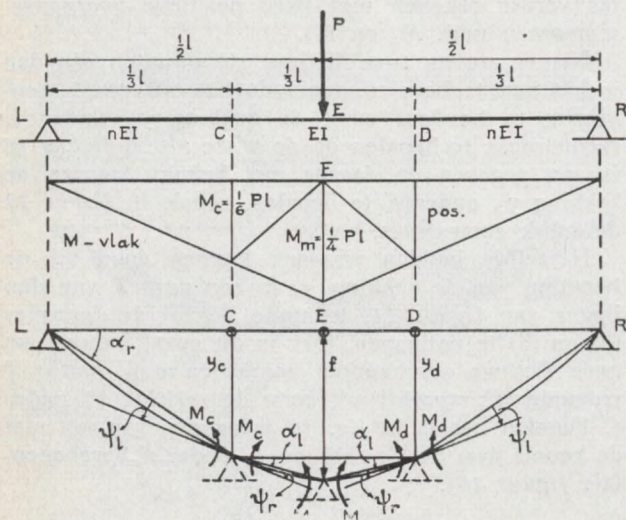


Fig. 19.

Tenslotte zal men voor het geval, voorgesteld in *figuur 20*, onder de punten B en C en onder het punt, waarvan men de zakking wil kennen, fictieve steunpunten moeten aannemen, wanneer men de formules (8) en (9) wil ontloopen. Past men deze laatste formules wel toe, dan komt men echter veel sneller tot de oplossing.

Een derde methode bestaat nog hierin, dat men met positieve en negatieve belastingen werkt, (zie *figuur 20*).

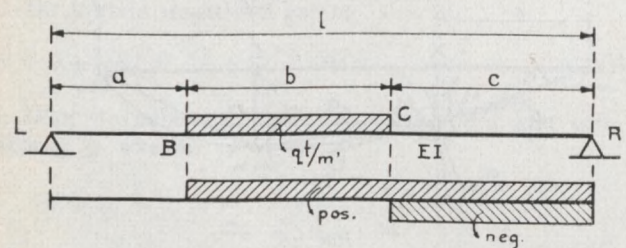


Fig. 20.

Bepaling van de zakking in een punt X van een prismatischen ligger op twee steunpunten aan beide einden vrij opgelegd, terwijl aan het rechter einde uitsluitend een moment M werkt, (zie *figuur 21*).

Hierbij is de initiale negatieve gaping α gelijk aan:

$$\alpha = \frac{y_x}{x} + \frac{y_x}{l-x} = y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l-x)}$$

Deze wordt verminderd door het moment M, werkende op het deel XR, met een bedrag φ_r bepaald door:

$$\varphi_r = \frac{1}{6} \cdot \frac{M \cdot (l-x)}{E \cdot I}$$

De resteerende gaping wordt opgeheven door het positieve overgangsmoment M_x .

Derhalve is dan:

$$y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l-x)} = \frac{1}{6} \cdot \frac{M \cdot (l-x)}{E \cdot I} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot l}{E \cdot I}$$

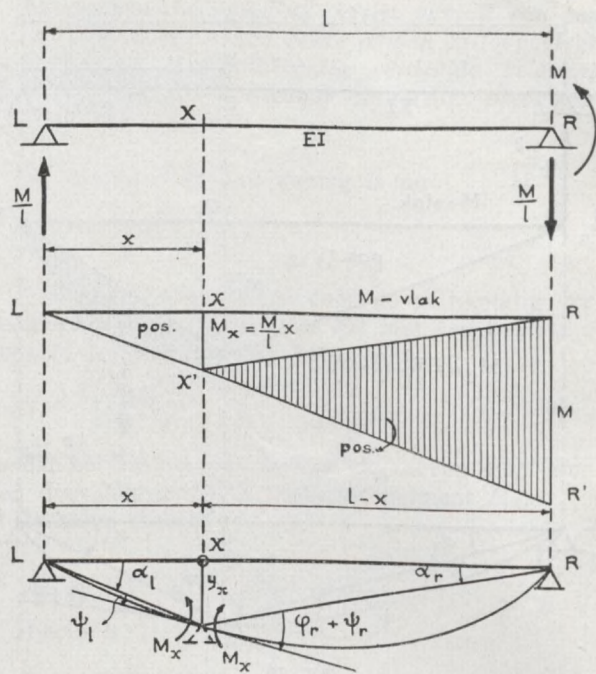


Fig. 21.

Hierin is: $M_x = \frac{M}{l} \cdot x$

zoodat:

$$y_x = \frac{M \cdot x \cdot (l^2 - x^2)}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} \dots\dots\dots (IX)$$

Deze vergelijking stelt voor de vergelijking van de elastische lijn voor den geheelen ligger voor het beschouwde belastingsgeval.

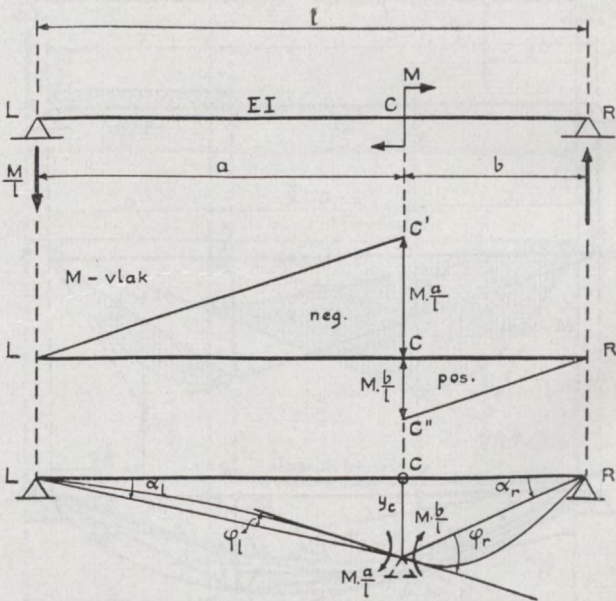


Fig. 22.

Bepaling van de zakkings van een punt C van een prismatischen ligger op twee steunpunten aan beide einden vrij opgelegd, welke belast wordt door een moment M in het punt C, (zie figuur 22).

Het bij de belasting van den ligger behorende momentenvlak bestaat uit twee deelen met verschillende teeken.

De initiale negatieve gaping is nu:

$$\alpha = \frac{y_c}{a} + \frac{y_c}{b} = y_c \cdot \frac{l}{a \cdot b}$$

Deze gaping wordt nog vermeerderd met een bedrag φ_l tengevolge van het moment $M \cdot \frac{a}{l}$ werkende in C op het deel LC. Hierbij is:

$$\varphi_l = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot \frac{a}{l} \cdot l}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot a}{E \cdot I}$$

Deze totale gaping moet nu opgeheven worden door het moment $M \cdot \frac{b}{l}$ werkende in C op het deel CR.

Dan is:

$$\alpha + \varphi_l = \varphi_r$$

waarbij
$$\varphi_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot b}{E \cdot I}$$

$$y_c \cdot \frac{l}{a \cdot b} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot a}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot b}{E \cdot I}$$

Derhalve is:

$$y_c = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot a \cdot b \cdot (b - a)}{E \cdot I \cdot l} \quad \dots\dots\dots (X)$$

Uit dit voorbeeld volgt dat er niet altijd van een zgn. „overgangsmoment” sprake behoeft te zijn. Tenslotte komt het er niet op aan wat we als overgangsmoment aannemen. Het gaat er alleen maar om de gaping weer op te heffen.

Uit (X) blijkt dat wanneer:

$b > a$ het punt C zakt,

$b < a$ het punt C stijgt,

$b = a$ het punt C noch zakt noch stijgt.

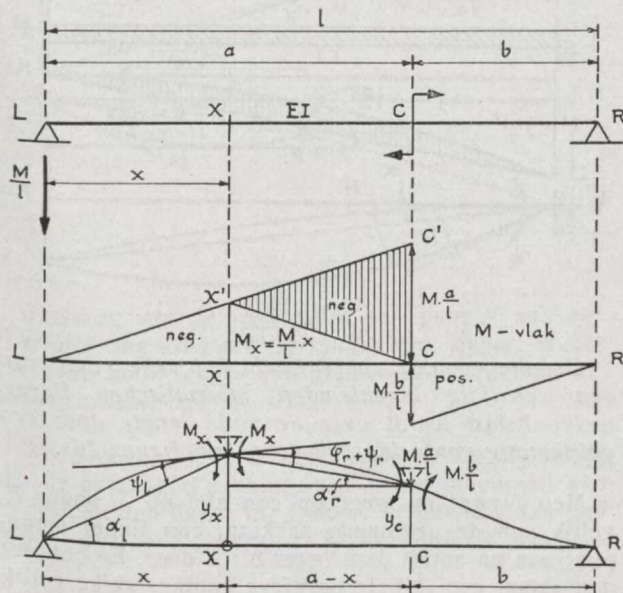


Fig. 23.

Bepaling van de stijging in een punt X van een prismatischen ligger op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd en belast door een moment M in het punt C waarbij $a > b$, (zie figuur 23).

We veronderstellen dat we de stijging y_c in het punt C vooraf bepaald hebben, hetgeen overigens niet noodig is maar terwille van een eenvoudig verloop van de berekening in dit geval wel aan te bevelen is.

We brengen thans boven de punten X en C fictieve steunpunten aan.

De initiale positieve gaping is nu:

$$\alpha = \alpha_l + \alpha_r = \frac{y_x}{x} + \frac{y_x - y_c}{a - x} = \frac{ay_x - xy_c}{x(a - x)}$$

Het driehoekige negatieve en geharceerde deel $X'CX'$ van het bij de belasting behorende totale momentenvlak van den ligger wordt opgevat als te behooren bij het moment $M \cdot \frac{a}{l}$ hetwelk het liggerdeel XC belast. Hierdoor wordt de gaping vermindert met een bedrag φ_r bepaald door:

$$\varphi_r = \frac{1}{6} \cdot \frac{M \cdot \frac{a}{l} \cdot (a - x)}{E \cdot I}$$

Het resteerende deel der gaping moet nu weer opgeheven worden door het positieve overgangsmoment M_x werkende op de beide liggerdeelen LX en XC.

Derhalve moet:

$$\alpha - \varphi_r = \psi$$

waarbij
$$\psi = \psi_l + \psi_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot a}{E \cdot I}$$

De voorwaardenvergelijking waaruit we de stijging vinden is nu:

$$\frac{a \cdot y_x - x \cdot y_c}{x \cdot (a - x)} - \frac{1}{6} \cdot \frac{M \cdot a \cdot (a - x)}{E \cdot I \cdot l} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot a}{E \cdot I}$$

Hierin is:

$$M_x = \frac{M \cdot x}{l}$$

zoodat wij voor de stijging van X vinden:

$$y_x = \frac{M \cdot x}{6 E \cdot I \cdot l} (2 \cdot l^2 - 6 \cdot a \cdot l + 5 \cdot a^2 - x^2) \dots (XI)$$

Deze vergelijking stelt voor de vergelijking van de linker tak LC der elastische lijn voor het beschouwde belastingsgeval.

B. Eenzijdig ingeklemde liggers.

Bepaling van de zakkings in het vrije einde van een prismatischen eenzijdig ingeklemde ligger, welke een geconcentreerde last P draagt in dat vrije einde, (zie fig. 24).

In dit geval snijden we den ligger bij L door, nadat onder R op een afstand δ een fictief steunpunt aangebracht is.

Bij L hebben we dan een initiale positieve gaping α , welke gelijk is aan:

$$\alpha = \frac{\delta}{l}$$

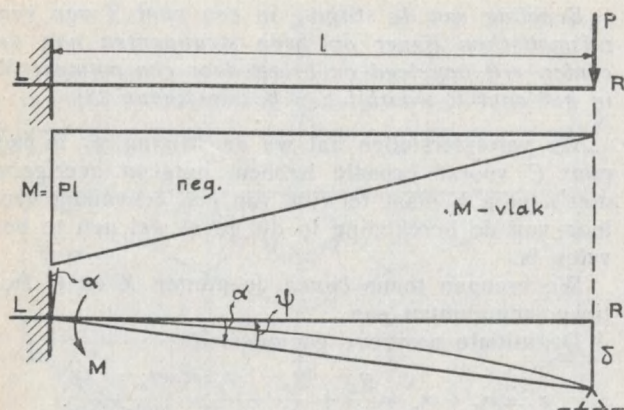


Fig. 24.

Deze gaping moet volkomen opgeheven worden door het moment M .

Derhalve moet: $\psi = \alpha$

$$\text{waarbij } \psi = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot l}{E \cdot I}$$

Uit de voorwaardenvergelijking.

$$\frac{\delta}{l} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot l}{E \cdot I} \text{ vinden we nu, daar:}$$

$$M = P \cdot l \text{ voor } \delta:$$

$$\delta = \frac{1}{3} \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I} \dots \dots \dots \text{(XII)}$$

Opmerking verdient bij dit geval dat wij, nadat het fictieve steunpunt is aangebracht, eigenlijk te doen hebben met een ligger op twee steunpunten, die aan de voorwaarde moet voldoen, dat de hoekverdraaiing bij L nul moet zijn.

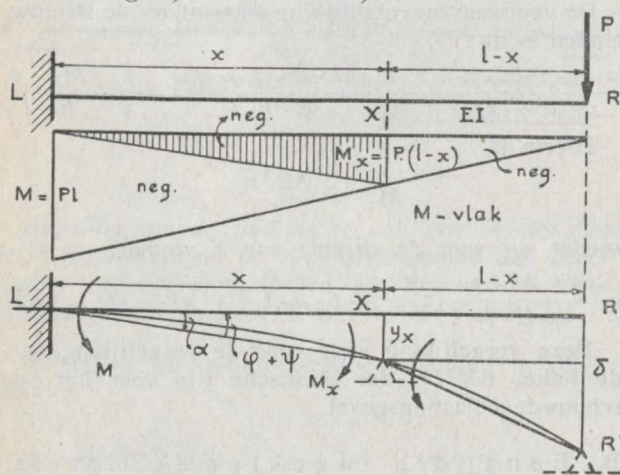


Fig. 25.

Bepaling van de zakking in een punt X van een eenzijdig volkomen ingeklemde prismatischen ligger, welke aan zijn vrije einde een geconcentreerde last P draagt, (zie fig. 25).

Stel de gevraagde zakking in X is y_x . We plaatsen nu een fictief steunpunt onder X en snijden den ligger weer bij L door. Er ontstaat aldaar een initiale positieve gaping α , welke gelijk is aan:

$$\alpha = \frac{y_x}{x}$$

Deze gaping nu wordt verminderd met een bedrag φ tengevolge van het moment M_x werkende in X op het liggerdeel LX . Het bij dit moment behoorende momentenvlak is in de figuur geharceerd aangegeven.

De resteerende gaping moet verder opgeheven worden door het moment M in L werkende. Het momentenvlak van dit moment wordt voorgesteld door het driehoekige niet geharceerde deel van het totale momentenvlak behoorende bij de belasting van den ligger gelegen tusschen de punten L en X .

Nu is:

$$\varphi = \frac{1}{6} \cdot \frac{M_x \cdot x}{E \cdot I}$$

zoodat: $\alpha - \varphi = \psi$

waarin ψ gelijk is aan:

$$\psi = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot x}{E \cdot I}$$

Men krijgt dan als voorwaardenvergelijking, waaruit de zakking te bepalen is:

$$\frac{y_x}{x} - \frac{1}{6} \cdot \frac{M_x \cdot x}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot x}{E \cdot I}$$

Hierin is:

$$M_x = P \cdot (l - x)$$

zoodat wij na substitutie hiervan in de voorwaardenvergelijking vinden voor y_x :

$$y_x = \frac{1}{6} \cdot \frac{P \cdot x^2}{E \cdot I} (3 \cdot l - x) \dots \dots \dots \text{(XIII)}$$

zijnde de vergelijking van de elastische lijn voor het beschouwde belastingsgeval.

In het zoo juist behandelde geval is M_x aangenomen als belastend moment. Het zal echter zonder meer duidelijk zijn, dat we M_x en M beide als overgangsmomenten kunnen opvatten. Op den gang der berekening maakt dit geen verschil, immers het komt er weer slechts op aan de initiale gaping bij L op te heffen.

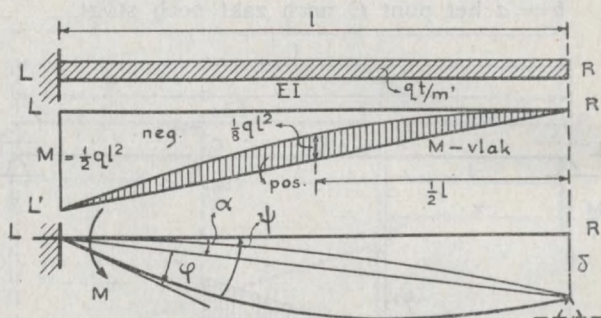


Fig. 26.

Bepaling van de zakking aan het vrije einde van een eenzijdig ingeklemde prismatischen ligger, welke belast wordt over de volle lengte door een gelijkmatig verdeelde belasting, (zie figuur 26).

Men brengt nu weer op een afstand δ onder R , gelijk aan de gevraagde zakking, een fictief steunpunt aan en snijdt den ligger bij L door. Er ontstaat dan aldaar een initiale positieve gaping, welke gelijk is aan:

$$\alpha = \frac{\delta}{l}$$

In het bij de belasting behorende momentenvlak verbinden we de punten L' en R . Tusschen deze lijn en de parabolische lijn van het oorspronkelijke momentenvlak wordt een paraboolsegment ingesloten (geharceerd in de figuur). We kunnen derhalve het bij de belasting behorende momentenvlak van den ligger opvatten als een superpositie van het driehoekige negatieve momentenvlak $LRL'L$ van het inklemmingsmoment M en het positieve parabolische momentenvlak van een ligger op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd en over de volle lengte belast door een gelijkmatig verdeelde belasting.

Hiervan uitgaande kunnen we dus zeggen, dat de initiale positieve gaping α vermeerderd wordt door de belasting met een bedrag φ waarbij:

$$\varphi = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I}$$

Deze totale gaping moet opgeheven worden door het inklemmingsmoment M .
en wordt de voorwaardenvergelijking:

Derhalve is: $\alpha + \varphi = \psi$

$$\frac{\delta}{l} + \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot l}{E \cdot I}$$

waarin:

$$M = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l^2$$

Na substitutie hiervan in de voorwaardenvergelijking vindt men voor δ :

$$\delta = \frac{1}{8} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} \dots \dots \dots (XIV)$$

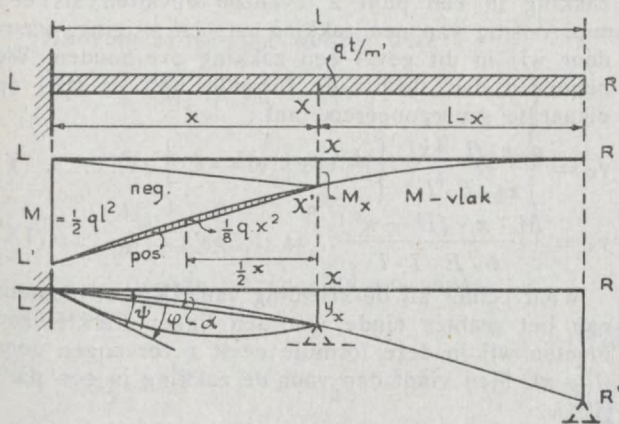


Fig. 27.

Bepaling van de zakking in een punt X van een eenzijdig ingeklemden prismatischen ligger, welke over zijn volle lengte een gelijkmatig verdeelde belasting draagt, (zie fig. 27).

We brengen op een afstand y_x onder X , gelijk aan de gevraagde zakking, een fictief steunpunt aan en snijden den ligger bij L door. Er ontstaat dan een initiale positieve gaping α , welke gelijk is aan:

$$\alpha = \frac{y_x}{x}$$

Waar nu het liggerdeel LX een ligger op twee steunpunten is, zal door de zich daarop bevindende gelijkmatig verdeelde belasting de gaping α vergroot worden met een bedrag φ , gelijk aan:

$$\varphi = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot x^3}{E \cdot I}$$

Deze totale gaping moet nu weer opgeheven worden door de momenten M en M_x , waarbij:

$$\alpha + \varphi = \psi$$

en waarin ψ voorstelt:

$$\psi = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot x}{E \cdot I} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_x \cdot x}{E \cdot I}$$

De voorwaardenvergelijking waaruit y_x te bepalen is, wordt nu:

$$\frac{y_x}{x} + \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot x^3}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot x}{E \cdot I} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_x \cdot x}{E \cdot I}$$

Hierin is:

$$M = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l^2$$

$$\text{en: } M_x = \frac{1}{2} \cdot q \cdot (l - x)^2$$

Men vindt dan voor y_x :

$$y_x = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot x^2}{E \cdot I} (6 \cdot l^2 + x^2 - 4 l \cdot x) \dots \dots (XV)$$

zijnde de vergelijking van de elastische lijn voor het beschouwde belastingsgeval.

C. Statisch onbepaalde liggers en constructies.

Bepaling van de zakking in een punt X van een prismatischen ligger aan een zijde ingeklemd en aan het andere einde vrij opgelegd, welke over zijn volle lengte belast is door een gelijkmatig verdeelde belasting, (zie fig. 28).

1e methode:

We bepalen weer allereerst het momentenvlak van den ligger. Dit is op te vatten als een superpositie van het positieve parabolische momentenvlak behorende bij een ligger op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd en belast door een gelijkmatig verdeelde belasting over de volle lengte, en van het negatieve driehoekige momentenvlak behorende bij een moment dat aan het linker einde werkt van den zelfden ligger. Terwille van de duidelijkheid is het positieve deel onder de nullijn uitgezet en het negatieve deel naar boven. Volledigheidshalve zij er nog op gewezen, dat het moment in het punt X gelijk is aan de algebraïsche som van beide momenten.

Stel de gevraagde zakking onder X is gelijk aan y_x . Op dien afstand onder X plaatst men een fictief steunpunt en snijdt den ligger bij L en X door.

Bij L ontstaat dan een initiale positieve gaping α , gelijk aan:

$$\alpha = \frac{y_x}{x}$$

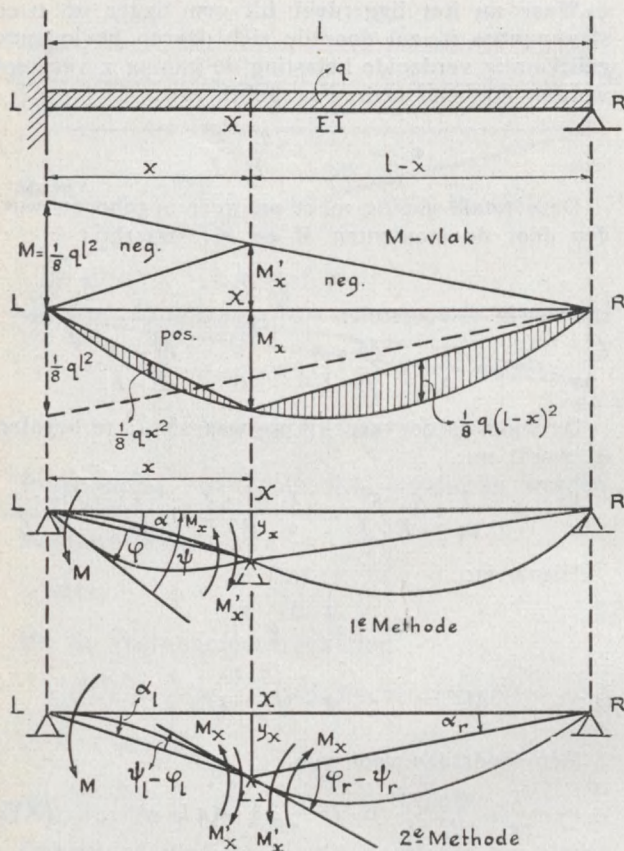


Fig. 28.

Deze gaping wordt nog vermeerderd met een bedrag φ tengevolge van de zich op het liggerdeel LX bevindende gelijkmatig verdeelde belasting.

Derhalve is:

$$\varphi = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot x^3}{E \cdot I}$$

Deze totale gaping moet opgeheven worden door de momenten M en $(M'_x - M_x)$.

De voorwaarde is dus dat:

$$\alpha + \varphi = \psi$$

waarin ψ gelijk is aan:

$$\psi = \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot x}{E \cdot I} + \frac{1}{6} \cdot \frac{(M'_x - M_x) \cdot x}{E \cdot I}$$

Hierin is: $M = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2$

$$M_x = \frac{1}{2} \cdot q \cdot x \cdot (l - x)$$

$$M'_x = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l \cdot (l - x)$$

De voorwaardenvergelijking, waaruit de zakking bepaald kan worden, luidt nu:

$$\frac{y_x}{x} + \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot x^3}{E \cdot I} = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l^2 \cdot x}{E \cdot I} + \frac{1}{48} \cdot \frac{q \cdot x \cdot (l - x) \cdot (l - 4x)}{E \cdot I}$$

of:

$$y_x = \frac{1}{48} \cdot \frac{q \cdot x^2 \cdot (l - x) \cdot (3 \cdot l - 2 \cdot x)}{E \cdot I} \dots \dots \text{(XVI)}$$

2e methode:

Bij X ontstaat na doorsnijding een initiale negatieve gaping α welke gelijk is aan:

$$\alpha = y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l - x)}$$

Door de gelijkmatig verdeelde belasting over de liggerdeelen LX en XR wordt deze gaping vermindert met een bedrag φ gelijk aan.

$$\varphi = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot x^3}{E \cdot I} + \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot (l - x)^3}{E \cdot I}$$

De resteerende gaping moet opgeheven worden door de negatieve overgangsmomenten M bij L en M'_x bij X en bovendien door het positieve overgangsmoment M_x bij X .

Men heeft dan als voorwaarde:

$$\alpha - \varphi = \psi$$

Hieruit volgt de voorwaardenvergelijking:

$$y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l - x)} - \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot [x^3 + (l - x)^3]}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x \cdot l}{E \cdot I} - \frac{1}{3} \cdot \frac{M'_x \cdot l}{E \cdot I} - \frac{1}{6} \cdot \frac{M \cdot x}{E \cdot I}$$

zoodat:

$$y_x \cdot \frac{l}{x \cdot (l - x)} = \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot [x^3 + (l - x)^3]}{E \cdot I} + \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l \cdot (l - x) \cdot (4x - l)}{E \cdot I} - \frac{1}{48} \cdot \frac{q \cdot l^2 \cdot x}{E \cdot I}$$

Men vindt dan voor y_x :

$$y_x = \frac{1}{48} \cdot \frac{q \cdot x^2 \cdot (l - x) \cdot (3 \cdot l - 2 \cdot x)}{E \cdot I} \dots \dots \text{(XVI)}$$

3e methode:

Aangezien wij het momentenvlak op kunnen vatten als een superpositie van een positief parabolisch deel en een negatief driehoekig deel, kunnen wij de zakking in een punt X evenzoo opvatten als een superpositie van een zakking en een stijging, waardoor wij in dit geval een zakking overhouden. We behoeven dan slechts de formules (V) en (IX) op elkaar te superponeren, nml.:

$$y_x = \frac{q \cdot x \cdot (l - x)}{24 \cdot E \cdot I} \cdot \left\{ l^2 + x \cdot (l - x) \right\} \dots \dots \text{(V)}$$

$$y_x = \frac{M \cdot x \cdot (l^2 - x^2)}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} \dots \dots \text{(IX)}$$

Waar echter bij de afleiding van (IX) het moment aan het rechter einde van den ligger werkte, zoo moeten wij in deze formule eerst x vervangen door $(l - x)$. Men vindt dan voor de zakking in een punt X :

$$y_x = \frac{q \cdot x \cdot (l - x)}{24 \cdot E \cdot I} \cdot \left\{ l^2 + x \cdot (l - x) \right\} - \frac{M \cdot x}{6 \cdot E \cdot I \cdot l} \cdot (l - x) \cdot (2 \cdot l - x)$$

waarin: $M = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2$

$$y_x = \frac{q \cdot x^2 \cdot (l - x)}{48 \cdot E \cdot I} \cdot (3 \cdot l - 2 \cdot x) \dots \dots \text{(XVI)}$$

Bepaling van de zakking in een punt X van een statisch onbepaalde portaalconstructie welke over het linker veld belast is door een gelijkmatig verdeelde belasting, (zie fig. 29a).

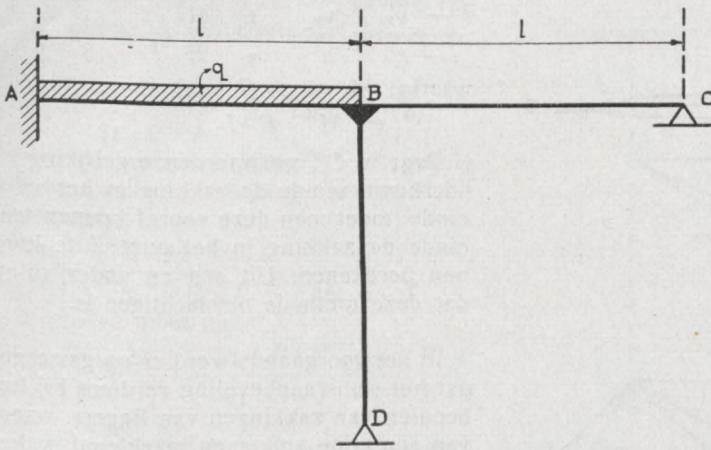


Fig. 29a.

Alvorens tot de bepaling van de zakking over te gaan moeten we allereerst het bij de belasting behorende momentenvlak van de constructie bepalen. Volledigheidshalve worden hieronder de vormveranderingsvergelijkingen gegeven, waaruit de onbekende momenten nabij de knooppunten in de stijlen en de regels kunnen worden bepaald, waarna het momentenvlak volledig bekend is.

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} &= \frac{1}{6} \cdot \frac{M_2 \cdot l}{E \cdot I} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_1 \cdot l}{E \cdot I} \\ \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{M_2 \cdot l}{E \cdot I} + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_1 \cdot l}{E \cdot I} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_4 \cdot l}{E \cdot I} \\ \frac{1}{3} \cdot \frac{M_3 \cdot l}{E \cdot I} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{M_4 \cdot l}{E \cdot I} \end{aligned} \right\}$$

$$M_2 = M_3 + M_4$$

Na vereenvoudiging worden deze:

$$\left. \begin{aligned} 2 \cdot M_1 + M_2 &= \frac{1}{4} \cdot q \cdot l^2 \\ M_1 + 2 \cdot M_2 + 2 \cdot M_4 &= \frac{1}{4} \cdot q \cdot l^2 \\ M_3 &= M_4 \\ M_2 &= M_3 + M_4 \end{aligned} \right\}$$

Hieruit vinden we voor de overgangsmomenten:

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{10} \cdot q \cdot l^2 & M_2 &= \frac{1}{20} \cdot q \cdot l^2 \\ M_3 &= \frac{1}{40} \cdot q \cdot l^2 & M_4 &= \frac{1}{40} \cdot q \cdot l^2 \end{aligned}$$

In figuur 29c is het volledige momentenvlak geteekend.

Teneinde nu de zakking te bepalen in het punt X, gelegen in het midden van het veld AB, is voor dit veld in fig. 29d het momentenvlak afzonderlijk geteekend.

De zakking in X wordt nml. uitsluitend beheerscht door het positieve moment tengevolge van de gelijkmatig verdeelde belasting over het veld AB, wanneer dit in A en B vrij was opgelegd en door de

negatieve momenten M_1 bij de inklemming A en M_2 bij de elastisch draaibare inklemming in B. We snijden nu den ligger bij A, X en B door en plaatsen op een afstand y_x onder X een fictief steunpunt. Bij X ontstaat dan een initiale negatieve gaping α , welke gelijk is aan:

$$\alpha = 2 \cdot \frac{y_x}{\frac{1}{2} \cdot l} = \frac{4 \cdot y_x}{l}$$

Door de gelijkmatig verdeelde belasting over de beide liggerdeelen AX en XB wordt deze gaping verminderd met een bedrag φ , zoodanig dat:

$$\varphi = 2 \cdot \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot (\frac{1}{2} \cdot l)^3}{E \cdot I} = \frac{1}{96} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I}$$

De resteerende gaping moet nu verder opgeheven worden door het positieve overgangsmoment M en door de negatieve overgangsmomenten M' , M_1 en M_2 , waarbij:

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 & M' &= \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{3}{40} \cdot q \cdot l^2 \\ M_1 &= \frac{1}{10} \cdot q \cdot l^2 & M_2 &= \frac{1}{20} \cdot q \cdot l^2 \end{aligned}$$

De voorwaardenvergelijking waaruit y_x te bepalen is luidt nu:

$$\begin{aligned} \frac{4 \cdot y_x}{l} - \frac{1}{96} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} &= \frac{1}{3} \cdot \frac{M \cdot l}{E \cdot I} - \frac{1}{3} \cdot \frac{M' \cdot l}{E \cdot I} \\ &\quad - \frac{1}{6} \cdot \frac{M_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot l}{E \cdot I} - \frac{1}{6} \cdot \frac{M_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot l}{E \cdot I} \\ \frac{4 \cdot y_x}{l} &= \frac{1}{96} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} + \frac{1}{24} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} - \frac{1}{40} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} \\ &\quad - \frac{1}{120} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} - \frac{1}{240} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{4 \cdot y_x}{l} &= \frac{7}{480} \cdot \frac{q \cdot l^3}{E \cdot I} \\ y_x &= \frac{7}{1920} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I} \dots\dots\dots (XVII). \end{aligned}$$

waarmede de zakking in X gevonden is.

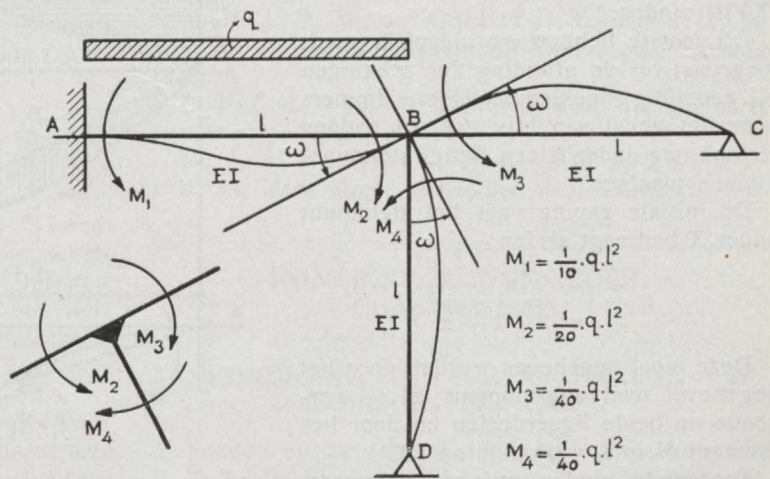


Fig. 29b

uit de hoekverdraaiing φ_l als gevolg van de belasting op het liggerdeel LX, waarbij:

$$\varphi_l = \frac{1}{81} \cdot \frac{P \cdot l^2}{E \cdot I} \quad (\text{zie formule (2)}).$$

en uit de hoekverdraaiing ψ_l als gevolg van het positieve overgangsmoment M bij X , waarbij:

$$\psi_l = \frac{1}{6} \cdot \frac{M \cdot \frac{1}{2} \cdot l}{E \cdot I} = \frac{1}{36} \cdot \frac{P \cdot l^2}{E \cdot I}$$

Derhalve moet nu:

$$\frac{1}{9} \cdot \frac{P \cdot l^2}{E \cdot I} = \frac{2 \cdot f}{l} + \frac{1}{81} \cdot \frac{P \cdot l^2}{E \cdot I} + \frac{1}{36} \cdot \frac{P \cdot l^2}{E \cdot I}$$

of:

$$f = \frac{23}{648} \cdot \frac{P \cdot l^2}{E \cdot I} \dots\dots\dots (\text{XVIII})$$

De voorgaande gevallen van liggers op twee steunpunten aan de einden vrij opgelegd hadden op overeenkomstige wijze behandeld kunnen worden, waardoor de opstelling der voorwaardenvergelijking, waaruit de gevraagde zakking bepaald moet worden, nog belangrijk te vereenvoudigen is.

Besluit.

Door toepassing van de boven uiteengezette methode der fictieve steunpunten is het mogelijk met behulp van de elementaire kennis der buigings-theorie, de zakkingen te bepalen bij statisch bepaalde zoowel als statisch onbepaalde constructies. De methode berust op een bijzondere toepassing van de momentenvergelijking van Clapeyron, waarvan

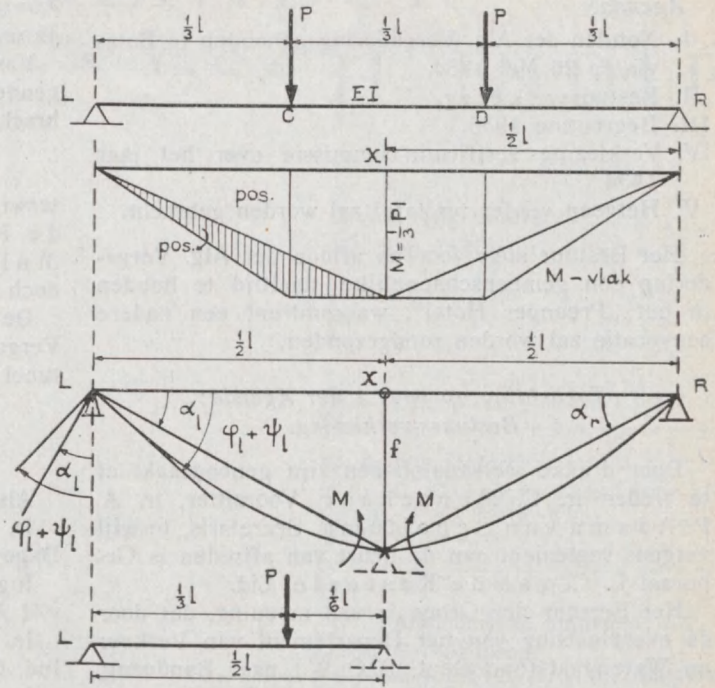


Fig. 30.

een grondige kennis bijgevolg onontbeerlijk is.

Wie zich echter hiermede vertrouwd gemaakt heeft zal geen moeilijkheden ondervinden bij het opstellen der voorwaardenvergelijking, waaruit de gevraagde zakking bepaald moet worden, en is het als een voordeel te beschouwen, dat men in zeer vele voorkomende gevallen door den grooten eenvoud der berekening tot een spoedig resultaat komt.

Bandoeng, December 1933.

PERSONALIA.

Ir. H. L. M. vande Meerendonk, wd. hoofd van de afdeling Landsgebouwen, werd benoemd tot hoofd van de afdeling Bruggen, Wegen en Landsgebouwen van het Departement van Verkeer en Waterstaat.

Ir. W. Lemei, ingenieur voor de landsgebouwen, werd benoemd tot hoofd van de onderafdeling Landsgebouwen van hetzelfde departement.

Ir. A. J. van Staal en Ing. J. Zorn, ingenieurs bij den Dienst voor Waterkracht en Electriciteit, werden benoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat.

Ir. W. L. Nugteren, ingenieur bij 's Lands Waterstaat, werd belast met de waarneming van de betrekking van Directeur van de Haven te Belawan.

Ir. B. Lieneman, ambtenaar op non-activiteit, werd benoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat, ter beschikking gesteld van de Provincie West-Java en geplaatst te Cheribon.

Aan ir. H. P. Hijmans van Anrooy, ingenieur bij de S.S., werd wegens zesjarigen dienst acht maanden verlof naar Europa verleend, ingaande 1 Juli 1935.

Het aan ir. N. E. van Beem, ingenieur bij den Provincialen Waterstaat van West-Java, verleende verlof naar Europa werd ingetrokken en dezen ingenieur werd overgeplaatst van Batavia-Centrum naar Serang.

Ir. A. H. Kuyp, ingenieur bij den Provincialen Waterstaat van West-Java, werd overgeplaatst van Soekaboemi naar Batavia-Centrum.

Ir. H. J. M. W. de Quartel, ingenieur bij de B. P. M. werd overgeplaatst van Rantau naar Sawang (Atjeh).

Ir. F. C. L. van Vugt, idem, werd overgeplaatst van Pladjoe naar Tjepoe.

Dr. L. U. de Sitter en ir. J. W. A. van der Horst, idem idem, vertrokken naar Europa.

KON. INST. v. INGENIEURS. Groep Ned.-Indië.

AANKONDIGING VAN DE ALGEMEENE VERGADERING DER GROEP

te houden op 12 Januari 1935 in het Gebouw der P. T. T., De Katstraat, Bandoeng, des namiddags ten 7 uur.

Agenda:

- I. Notulen der Alg. Vergadering gehouden te Batavia op 26 Mei 1934.
- II. Bestuursverkiezing.
- III. Begroting 1935.
- IV. Verkiezing verificatie-commissie over het jaar 1934.
- V. Hetgeen verder ter tafel zal worden gebracht.

Het Bestuur stelt voor na afloop der Alg. Vergadering een gemeenschappelijke maaltijd te houden in het „Preanger Hotel”, waaromtrent een nadere convocatie zal worden rondgezonden.

*Toelichting op punt 2 der Agenda:**Bestuurs-verkiezing.*

Door drukke werkzaamheden zijn genoodzaakt af te treden ir. C. Menschaar, Voorzitter, ir. A. P. Adama van Scheltema, Secretaris, terwijl volgens reglement aan de beurt van aftreden is Generaal L. C. van de Kastele, Lid.

Het Bestuur der Groep is van meening, dat door de overplaatsing van het Departement van Verkeer en Waterstaat (oud Dept. B. O. W.) naar Bandoeng, de keuze voor nieuwe Bestuursleden te Batavia steeds geringer is geworden, reden waarom zij de suggestie naar voren wenscht te brengen om in overweging te nemen het zwaartepunt van het Groepsbestuur naar Bandoeng over te brengen.

Het Bestuur noodigt daarom de leden uit een voordracht van 3 kandidaten voor de open gekomen bestuurszetels te willen indienen bij het Secretariaat

Koningsplein O. 15, Batavia-Centrum, vóór 1 Januari a.s.

Van de zijde van het Bestuur wordt gaarne de volgende voordracht onder de aandacht der leden gebracht:

ir. C. Hillen, Voorzitter,

ir. H. van der Veen, Secretaris,

terwijl zij gaarne in de plaats van Generaal van de Kastele benoemd zag, Kolonel Statius Muller, die momenteel nog in Europa vertoeft, doch begin Februari 1935 in Indië wordt verwacht.

De officiële kandidatenlijst zal vóór de Algemeene Vergadering worden bekend gemaakt, waarna eventueel stemming zal plaats hebben.

BESTUURSMEDEDEELINGEN.**Voorgestelde nieuwe leden:**

Als gewoon lid worden voorgesteld:

Ir. J. C. Hartjens, Leeraar M. O. (H. B. S.), Dagoweg 90, Bandoeng.

Ing. H. J. Brugman, Ing. 1e klasse, Hoofd v/d Afd. Seinwezen der S.S., Lembang.

Ir. J. W. Jongkers, Ing. bij de N.V. Ned. Ind. Gas Mij., Koningsplein O. 19, Batavia-C.

Ir. A. H. van Laer, Electr. ingenieur b/d N.V. Alg. Ned. Ind. Electriciteit Mij., Pension van Brussel, Semarang.

Ir. J. P. Thijssse Jr., Ing. bij de Gemeente Bandoeng, van Ruisdaelweg 2, Bandoeng.

Eventuele bezwaren tegen deze kandidaatstelling worden vóór 20 December 1934 ingewacht bij het Secretariaat, Koningsplein Oost 15, Batavia-Centrum.

IV. MIJNBOUW EN GEOLOGIE.

„DE MIJNINGENIEUR”

INHOUD: Zur Stratigraphie des javanischen Pleistocän, von Dr. G. H. R. von Koenigswald. — Economische mededeelingen.

Zur Stratigraphie des javanischen Pleistocän

von

Dr. G. H. R. VON KOENIGSWALD,

Palaeontoloog bij den Opsporingsdienst van den Mijnbouw, Bandoeng.

Mit 4 Tafeln.

Einleitung.

Die Kartierung des Geologischen Dienstes (Opsporingsdienst) in Mittel- und Ostjava hat gezeigt, dass den dort vielfach garnicht so seltenen Resten fossiler Säugetiere als Leitfossilien eine besonders wichtige Rolle zukommt, um so mehr, als diese zumeist aus terrestrischen Ablagerungen stammen, die somit einer Einteilung in die auf Foraminiferen und Mollusken basierten bisherigen Schemata nicht zugänglich sind. Mit der systematischen Bearbeitung des durch den Opsporingsdienst versammelten und stets noch anwachsenden Materiales war begonnen worden — nach dem über die vor mehr als 40 Jahren auf Kosten des Gouvernements van Nederlandsch-Indië von Dubois zusammengebrachten Sammlungen noch immer keine genaueren Angaben vorliegen, — doch brachten es die ungünstigen Zeitumstände mit sich, dass derartige Arbeiten leider sehr in den Hintergrund treten mussten zu Gunsten einer mehr auf persönlicher Erfahrung fussenden praktischen Einteilung für den kartierenden Geologen. Unter diesen Umständen vermag die vorliegende Arbeit, die bisher erreichten Resultate kurz zusammenfassend, nicht viel mehr als einen Ueberblick zu geben über die Möglichkeit einer Gliederung der pleistocänen Ablagerungen Javas auf Grund der Säugetierfauna und die damit zusammenhängenden Probleme.

Kriterien für eine Abgrenzung des Pleistocän.

Die Gliederung des Pleistocän ist von Europa mit seinen zahlreichen Glazialbildungen ausgegangen. Dem entsprechend treffen die Kriterien, die wir dort zu einer Einteilung und Abgrenzung des Diluviums verwenden können, nur zum Teile auf die Tropen zu, und wir wollen daher zu erst auf einige Gesichtspunkte hinweisen, die bei der Beurteilung der aufgeworfenen Frage von prinzipieller Wichtigkeit sind,

ehe wir uns mit den javanischen Verhältnissen im Einzelnen beschäftigen.

Für die von der Vereisung betroffenen grossen Gebiete lässt sich aus dem Charakter der Sedimente — Sanderbildungen und Moränen am Eisrande, Löss und Schotterablagerungen mit besonderer Geschiebeführung im Hinterland — vielfach leicht ihr diluviales Alter ableiten. Sicherlich sind die allgemeinen klimatischen Auswirkungen der Eiszeit nicht zu unterschätzen, aber es scheint mir sehr die Frage, ob diese für die weiten tropischen Gebiete, abgesehen natürlich von einer stärkeren Beeinflussung der Randgebiete und einer Vergletscherung extrem hoher Berge, wirklich von nennenswerter Bedeutung für eine besondere Sedimentbildung gewesen sein können. Ich meine hier besonders die sogenannten Pluvialbildungen. Dass gewisse heute trockene Gebiete im Pleistocän mehr Niederschlag gehabt haben ist sicher, aber — wie mir scheint — fehlt jeder Beweis dafür, dass so diese im Pliocän etwa trockener gewesen wären und, was in diesem Zusammenhang viel wichtiger ist, dass jeder Eiszeit der vergletscherten eben eine Pluvialzeit der tropischen Gebiete entsprechen würde. Das ist nun nicht der Fall. Blanckenhorn, der in Aegypten und Syrien gearbeitet hat und vielfach über Pluvialbildungen schreibt, muss zugeben, „dass in der südlichen Hälfte des nordafrikanischen Wüstengürtels während der Diluvialzeit kein vom heutigen so sehr erheblich abweichendes Klima geherrscht hat als in der nördlichen“ (1910, pg. 446). „Für das vierte, Oberdiluviale oder Würm-Glacial..... dagegen war in genannten von mir untersuchten Ländern überhaupt kein beachtenswerter klimatischer Unterschied gegen heute mehr wahrzunehmen“ (1911, pg. 264).

Man darf nicht in den Fehler verfallen, fluviatile

Sedimente als lediglich vom Klima abhängig aufzufassen. Sicherlich sind sie in starkem Masse auch von der Tektonik beeinflussbar, in dem in den Hebungsgebieten Ausräumung, in den Senkungsgebieten Sedimentation herrscht. Neuere Arbeiten, haben auf den starken Einfluss hingewiesen, den selbst minimalste tektonische Bewegungen auf die Sedimentbildung ausüben können. Kein anderer als Heim versucht, die Ablagerung der mächtigen diluvialen Hochterrassenschotter der Schweiz neuerdings auf durch Tektonik beeinflusste Sedimentation zurückzuführen.

Auf diese Dinge müssen wir hier hinweisen, da sie auch bei der Beurteilung javanischer Verhältnisse wichtig sind. So hat Blanckenhorn bei der Besprechung von Trinil die Auffassung geäußert „Auf Java spricht alles dafür, dass der Kendeng-Schichten oder Trinil-Schichten-Komplex ebenfalls das eigentliche grosse..... Pluvial vertritt. Innerhalb dieses Komplexes liegt aber die knochenführende *Pithecanthropus*-Schicht nicht so sehr weit von der Basis desselben über dem marinen Pliocän d.h. etwa in der Mitte oder besser noch in der unteren Hälfte. Wenn nun die vulkanischen Trinil-Schichten das ganze grosse Pluvial..... vertreten und sich auf diese ganze Zeit relativ gleichmässig verteilen, dannetc.“ (1911, pg. 264). Diese ganze Betrachtung hängt völlig in der Luft; die Trinil-Lagen, die bei Trinil selbst nicht sehr mächtig und vielleicht nicht einmal vollständig entwickelt sind, erlauben in keiner Weise eine derartige Betrachtung, wie das Goenong Boetak-Profil zeigt. Nichts gestattet uns, auf Java von einer Pluvialzeit zu sprechen: die allgemeinen klimatischen Verhältnisse können auf Java im ganzen Pleistocän nicht viel anders gewesen sein als heute. Einige Autoren, besonders Schuster wollen auf Grund der Trinil-Flora auf ein kälteres Klima als das heutige schliessen, doch sind die Bestimmungen und die daran geknüpfte ökologische Auswertung angezweifelt worden.

Die Terrassenbildungen im Solotal nördlich Ngawi bezeichnen nichts als Stillstandslagen in der Heraushebung der Kendengkette; d.h. sie sind durchaus tektonisch bedingt. Die Auffassung von Oppenoorth über die Terasse von Ngandong: „Zeker is wel, dat de afzetting van Ngandong correspondeert met één van de laatste interglacialperioden:..... Het waarschijnlijkst komt mij voor de correlatie met het begin van het Riss-Würm interglacial, ofschoon die met het mindel-Riss tijdperk niet uitgesloten is“ (1931, pg. 57) entbehrt nicht nur jeden Beweises, sondern auch jeder Wahrscheinlichkeit. In Mitteljava erweist sich die Sedimentation stark abhängig von der Synclinalbildung, welche vermutlich noch nicht einmal heute zum völligen Stillstand gekommen ist. Das Auftreten von schiefgestellten Schichten bei Trinil und von sehr hoch liegenden Tuffen mit Djetis-Fauna am G. Boetak können unmöglich als Beweis für ein unbedingt tertiäres Alter (Dubois) der fraglichen Schichten angeführt werden. Die hier konstatabaren pleistocänen Bewegungen sind klein verglichen mit denen anderer Gebiet z.B. des benachbarten Indien, wo nach de Terra eine spät-quartäre bis altaluviale Emporhebung der Pir

Panjal-Kette (südl. Himalaja) um 2 — 3000 m, eine Faltung der diluvialen Sedimente etc, etc, zu konstatieren ist.

An dieser Stelle sei ganz kurz auf die junge Ueberflutung des Sunda-Platts hingewiesen, die von Molengraaff mit einer Erhöhung des Meeresspiegel als Folge der abgeschmolzenen grossen diluvialen Eismassen, vom Verf. mit einer Veränderung der Pollage und damit zusammenhängenden Verschiebung der äquatorialen Wassermassen in Verband gebracht wird.

Wir müssen konstatieren, dass wir auf Java keinerlei Sedimente zu erwarten haben, die ihrem Charakter, wie in den von der Vereisung betroffenen Gebieten, nach ausschliesslich Bildungen des Pleistocän sein müssten, und dass eine ungestörte Lagerung der pleistocänen Ablagerungen nicht vorausgesetzt werden darf. Das einzige Kriterium das wir anwenden können, ist die Fauna.

Die heutigen tiergeographischen Verhältnisse waren im wesentlichen im Pleistocän vorgebildet, wie auch Kayser (pg. 548) hervorhebt. Jedoch sind im Laufe des Pleistocän eine ganze Anzahl Gattungen erloschen, nicht nur in den von der Vereisung unmittelbar betroffenen Gebieten, sondern auch in den Tropen. Im Zusammenhang mit der Trinil-Fauna stellt Dubois folgende Betrachtungen an: „In den äquatorialen Gebieten, hingegen, müssen jene Klimaschwankungen kaum merkbar vorüber gegangen sein; der Charakter der Säugetierfauna kann durch sie nicht in nennenswerter Weise umgeprägt worden sein..... Während in Europa und in anderen Gebieten höherer Breiten die diluviale Fauna sich dann auch aus einer verhältnismässig grossen Anzahl ausgestorbener Säugetiere, neben den jetzt noch lebenden oder nur zeitlich aus kälteren Gegenden eingewanderten Arten, zusammensetzt, können demnach die diluvialen Klimaänderungen in den tropischen Gebieten der Erde die Säugetierwelt kaum umgeändert haben“ (1908, pg. 1254). Diesen theoretischen Erwägungen entsprechen nun leider die Tatsachen keineswegs. Was für Klimaänderungen die echten Tropen im Pleistocän betroffen haben, darüber wissen wir leider noch zu wenig. In tropischen Gegenden enthält die Diluvialfauna an ausgestorbenen Gattungen in Afrika: *Chalicotherium*, *Dinotherium*, *Hipparion*, *Pelorovis*, *Rhynchotragus*, *Thaleroceus*, *Metridiochoerus*; auf Madagaskar sind die grossen Lemuren, *Hippopotamus* und *Aepyornis*, in Südamerika *Hippidum*, *Machairodus*, *Mastodon*, *Mylodon*, die zahlreichen Glyptodonten, in Australien *Thylacoleo*, *Diprotodon*, *Phascodomus*, *Genyornis*. Diese Liste liesse sich noch beliebig verlängern, aber ich glaube, die kleine Aufzählung dürfte genügen um zu zeigen, wie stark die pleistocäne Fauna auch tropischer Gebiete von der heutigen verschieden ist.

Da nun die Faunen der verschiedenen Gebiete je nach ihrer geographischen Situation eine andere Zusammensetzung haben, deren Nebeneinander in der Jetztzeit leicht konstatierbar, in fossilem Zustande jedoch sehr viel schwerer zu erkennen ist, was eine zeitliche Gleichsetzung fossiler Faunen räumlich getrennter Gebiete bedeutend erschwert, müssen wir versuchen, ein Kriterium für das absolute Alter

einer (pleistocän-)Fauna zu finden, ein Mittel, das uns unabhängig macht von eventuellen local bedingten und daher eine Parallelisierung erschwerenden Eigenheiten der betreffenden Fauna. Als absoluter Zeitmesser kann uns nur eine Tiergruppe dienen, welche noch im Laufe des Pleistocän eine bedeutende Entwicklung durchgemacht hat, dabei einen einfachen und übersichtlichen Stammbaum aufweist und eine möglichst weite geographische Verbreitung besitzt.

Diese Forderungen werden in einer fast idealen Weise durch die Gattung *Euelephas* erfüllt, die heute noch im indischen Elefanten *Elephas* (*Euelephas*) *maximus* L. fortlebt, und deren fossile Vertreter in Asien, Europa, Afrika, Nord- und Mit-

telamerika gefunden worden sind. Von dem primitiven *Elephas planifrons* Falc. des Mittelpliocän Britisch-Indiens bis zum indischen Elefanten und den jung quartären complizierten Formen ist ein derartiger Fortschritt in der Spezialisierung festzustellen, wie er stärker innerhalb des gleichen relativ kurzen Zeitraumes bei keiner anderen gleichaltrigen Tiergruppe zum Ausdruck kommt. Und in dem wir diese Entwicklung Schritt für Schritt verfolgen, erhalten wir gleichzeitig einen Zeitmesser von allergrösster Bedeutung und Zuverlässigkeit.

Hier lasse ich ein Schema (etwas abgeändert) folgen das W. Soergel, einer unserer bedeutendsten Elefantenspezialisten, entworfen hat (1915, pg. 283):

	Indien	Eurasien	Amerika
Gegenwart und Alluvium	<i>El. indicus</i>		
Jüngeres Diluvium	<i>El. indicus</i>	<i>El. antiquus</i> <i>El. primigenius</i>	(<i>El. primigenius americanus</i>) ?
Mittleres Diluvium	<i>El. hysudrindicus</i>	<i>El. antiquus</i> <i>El. primigenius</i> <i>El. primigenius trogontherii</i>	<i>El. columbi</i>
Aelteres Diluvium	<i>El. hysudrindicus</i>	<i>El. antiquus</i> <i>El. trogontherii primigenius</i> <i>El. trogontherii meridionalis</i>	<i>El. imperator</i> ?
Aeltestes Diluvium und oberes Oberpliocän	<i>El. hysudricus hysudricus</i>	<i>El. meridionalis antiquus</i> <i>El. meridionalis meridionalis</i>	
Unteres Oberpliocän	<i>El. hysudricus primitivus</i>	<i>El. meridionalis primitivus</i>	
Mittelplicän bis Unterpliocän	<i>El. planifrons</i>		

Die Abstammung der einzelnen Formen von einander ist nicht unbestritten geblieben (*Elephas antiquus* von *E. meridionalis*), doch spricht das für die Gültigkeit den Schemas — was das zeitliche Auftreten und die Spezialisationshöhe der Arten betrifft —, keine Rolle. Soergel betrachtet den indischen *E. namadicus* als identisch mit *E. antiquus* und will mit Dubois in dem von letzterem genannten *E. hysudrindicus* von Java den Vorläufer des *E. maximus* sehen, eine Frage, die vorläufig noch nicht entschieden ist. Verf. hält die javanische Form für nicht verschieden von der indischen und behält vorläufig den Namen *E. namadicus* bei. Das Problem der Abstammung des indischen Elefanten ist noch nicht gelöst.

Leider gibt uns die Gattung *Elephas* nicht die Möglichkeit in die Hand, ältestes Pleistocän und jüngstes Pliocän einwandfrei von einander zu trennen. Ueberhaupt bietet die Grenzziehung Pliocän-Pleistocän ihre ganz besonderen Schwierigkeiten, und nicht einmal für Europa besteht darin Einigkeit unter den Geologen. Wir werden auf dieses Problem noch zurückkommen, wenn wir auf das Alter unserer Djetis-Fauna näher einzugehen haben.

Der jüngste amerikanische Elefant gleicht so dem eurasiatischen *E. primigenius*, dass es nach Soergel noch nicht entschieden ist, ob diese Form wirklich ein Neuankömmling aus Asien oder, was morphologisch durchaus zu verteidigen ist, ein direkter Nachkömmling des amerikanischen *E. columbi* ist. Kürzlich hat Osborn einen neuen asiatischen Elefanten unter dem Namen *Elephas platycephalus* beschrieben, dessen relativ niedrige Lamellen neben anderen Merkmalen einen primitiven Zustand verraten. Der obere letzte Molar hat $\times 12 \times$ Lamellen, eine hohe Zahl, und es ist typisch, dass diese Form dem Altpleistocän oder obersten Pliocän angehört. Eine Uebersicht zeigt überhaupt, dass höhere Lamellenzahlen im Pliocän noch nicht vorkommen; wohl können dagegen Formen mit niedriger Lamellenzahl bis in die Gegenwart ausdauern, wie z.B. der afrikanische Elefant *Elephas* (*Loxodon*) *africana*, mit $M \frac{3}{3} \frac{10}{11}$, dessen Abstammung noch immer nicht geklärt ist.

So geben uns die Elefanten die Möglichkeit, selbst Faunen weit auseinander gelegener Gebiete noch mit einander zu parallelisieren. Für das beschränkte

Gebiet von Süd- und Ost-Asien erweist sich ferner die Gattung *Stegodon* in dieser Hinsicht als ausserordentlich wichtig, denn auch diese Gattung hat einen einfachen Stammbaum und zwischen dem primitiven *Prostegodon latidens* des Unterpliocän und den hochkomplizierten Arten des Pleistocän gibt es genug Zwischenformen von stratigraphischer Bedeutung. Auch auf Java lassen die Formen der verschiedenen Horizonte sehr deutlich eine fortschreitende Spezialisierung erkennen. Wir besitzen somit für Java in diesen beiden Proboscidiengattungen Leitformen von besonderer Bedeutung, auf welche wir uns sowohl bei der Bestimmung des relativen wie des absoluten Alters der entsprechenden Faunen verlassen können.

Die pleistocänen Säugetierfaunen Javas.

Dubois hat die von ihm seiner Zeit auf Java an den verschiedenen Fundstellen ausgegrabenen Säugetiere als zu einer einheitlichen Fauna gehörig betrachtet, die er Kendeng- oder Trinil-Fauna nannte. Eine genaue Analyse der von der Fundstelle Trinil herstammenden Fauna hat im Zusammenhang mit neuen, genau horizontierbaren Aufsammlungen und der geologischen Kartierung eines grösseren Gebietes gezeigt, dass die für die Lokalität Trinil typische Lebewelt durchaus nicht an allen Fundstellen anzutreffen ist, dass vielmehr mit grosser Deutlichkeit auf in dem auch z.T. von Dubois untersuchten Gebiet mehrere zeitlich verschiedene und bei allgemeinen gleichartigem Charakter doch durch besondere Leitfossilien gut zu unterscheidende Säugetierfaunen vorhanden sind.

Dieses völlig unerwartete Resultat gibt uns nun die Möglichkeit, das javanische Pleistocän genauer zu gliedern, was nicht nur für die Geologie besonders der Ostjavanischen Petroleumgebiete von hervorragender Bedeutung ist, sondern lässt uns auch gleichzeitig endlich die Frage nach dem relativen und absoluten Alter der Urmenschen von Trinil und Ngandong beantworten.

Wir besprechen die verschiedenen Faunen am besten nicht in ihrer Reihenfolge, sondern gehen von der bekannten Fauna aus, welche die berühmte Fundstelle Trinil geliefert hat, und behalten für diese die Bezeichnung:

Trinil-Fauna.

bei, gebrauchen hier diesen Namen also in einem viel beschränkteren Sinne als Dubois. Gegenüber den anderen Faunen ist Trinil besonders durch zwei an sich sehr häufige Arten charakterisiert: durch den kleinen *Axis*-Hirsch *Cervus lydekkeri* Martin und die Antilope *Duboisia kroesenii* (Dubois). Ein Fundplatz mit Trinil-Fauna ist u.a. Kedoeng Broeboes in der Nähe des G. Pandan. Konglomerate bei Sangiran (Sangiran II), in der Nähe Soerakartas haben eine besonders reiche Fauna geliefert. Nördlich der Kendengkette ist der Kali Loesi und vermutlich auch der Pati Ajam west-

lich von Rembang als zu diesem Horizont gehörig zu nennen.

Nördlich von Ngawi haben wir Terrassen, die bei Ngandong die berühmten Neanderthal-Schädel geliefert haben. So lange mir die Trinil-Fauna nur von Trinil selbst bekannt war, glaubte ich die geringen Differenzen mit der Terrassenfauna auf lokale Umstände zurückführen zu dürfen. Nach dem sich aber die Fauna von Trinil mit allen ihren Besonderheiten auch an anderen Plätzen gefunden und damit ihre Selbständigkeit erwiesen hat, müssen wir die Terrassenfauna von ihr getrennt halten, die ich hiermit nach der berühmtesten Fundstelle die

Ngandong-Fauna

nenne. Für diese Fauna ist besonders typisch der Hirsch *Axis axis javanicus* v. K., ferner das Fehlen von *Duboisia* und anderer Antilopen. Fundplätze sind die Terrassen nördlich Ngawi, so bei Pandejan, Ngandong, Ngrawoh, Koewoengkoelon und weiter nördlich auch bei Tinggang, der alten Fundstelle von Dubois. Westlich von Ngawi sind die Verhältnisse nicht sehr übersichtlich, da durch die Heraushebung des Kendeng in dieser Gegend eine Terrassenkreuzung zu erwarten ist, die bei der Gleichartigkeit der Sedimente nicht ohne weiteres erkannt werden kann. So ist wohl auch die Mischung von Trinil- und Ngandong-Fauna bei Pitoe zu erklären, die ich früher auch als Beweis für die Gleichartigkeit beider Faunen angesehen habe. Ngandong-Fauna findet sich westlich Ngawi ferner bei Watoealang, Watoeogoedel, Sidoredjo u.s.w. Nicht nur aus der geologischen Aufnahme, sondern auch aus der palaeontologischen Analyse — Ngandong weniger ausgestorbene Gattungen als Trinil — ergibt sich, dass die Fauna von Ngandong jünger sein muss als die von Trinil. Aus dem Verfolg der Ablagerungen ergibt sich dass zur Ngandong-Zeit der Lauf des Solo ein anderer gewesen sein muss als zur Trinil-Zeit. Diese Verlegung hängt wahrscheinlich mit Eruptionen im Pandan-Wilis-Gebiet zusammen. Van Es war bereits früher aus diesen Gründen für ein Altersunterschied zwischen Trinil und Ngandong eingetreten.

Die Ngandong-Fauna ist bisher nur aus der weiteren Umgebung von Ngawi und dem Solodurchbruchstal bekannt.

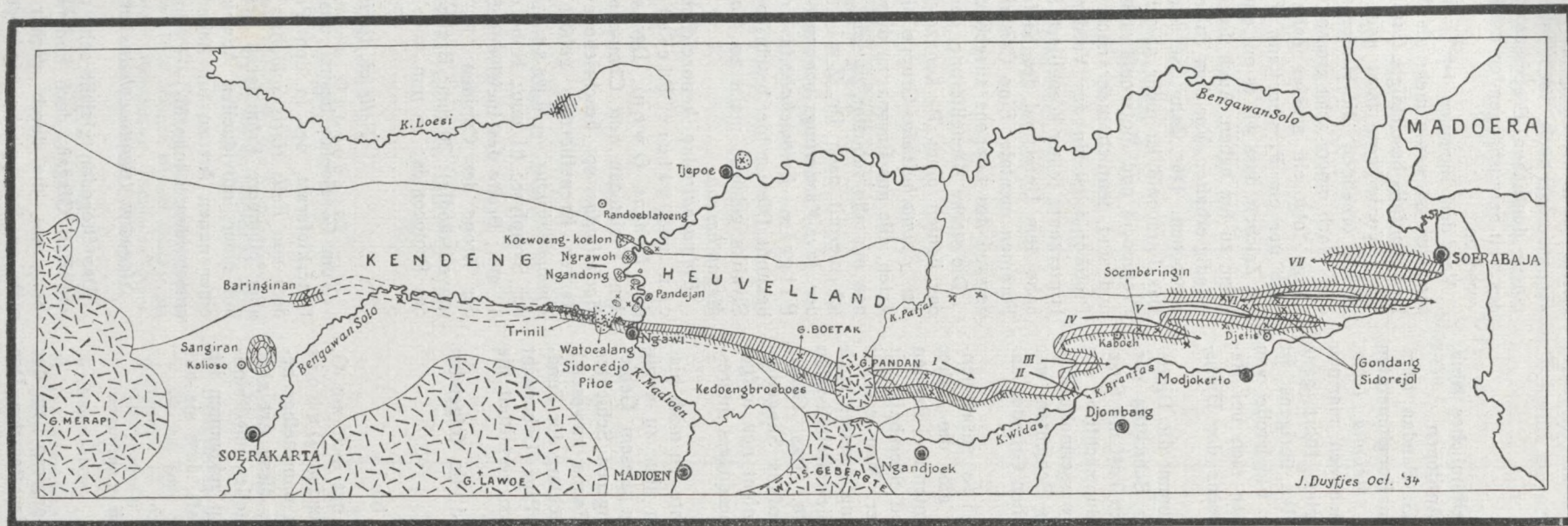
In Trinil selbst sind die Lagerungsverhältnisse nicht recht deutlich, da hier die „Trinilschichten“ nur wenig mächtig entwickelt sind und die tieferen Schichten keine Säuger mehr führen. Gehen wir aber weiter nach Osten zum G. Pandan, so finden wir dort unter den Sand- und Schotterablagerungen von Kedoeng Broeboes mit typischer Trinil-Fauna mehr vulkanische Absätze, die ganz andere Säugetierarten enthalten. (Sowohl G. Boetak wie Kedoeng Broeboes sind Fundplätze von Dubois). Dass die Schichten vom G. Boetak einem älteren Horizont angehören müssen, hat van Es zuerst erkannt.

Wir haben hier somit unter dem Trinil-horizont noch einen älteren. Die für diesen typische Fauna ist zuerst aus der Gegend von Djetis, und Pening bei Modjokerto (Ostjava) bekannt geworden (Fundstellen, auf welche Cosijn

Übersichtskarte der Fundstellen von fossilen
Säugetieren im Gebiete zwischen Soerabaja und Soerakarta

Tafel I

Maszstab 0 10 20 30 40 50 km.



Enklärung der Zeichen

- Schichten mit Djetis-Fauna
- Schichten mit Trinil-Fauna
- Terrassen mit Ngandong-Fauna
- Vulkanische Brecciën und Tuffe
- Fundstellen fossiler Vertebraten
- Anticlinaalachse

Nach dem Stand unserer Kenntnis
Oct. 1934

als erster aufmerksam machte), weshalb ich dafür den Namen

Djetis-Fauna

gebrauche. Sie enthält u.a. ein altertümliches Rind, *Leptobos*, und mehrere Arten von Antilopen.

Ähnliche Verhältnisse wie am G. Pandan herrschen bei Sangiran, wo unter den Konglomeraten mit Trinil-Fauna dunkle Tone mit *Melania*, *Unio*, *Viviparus* etc. und einer geringmächtigen marinen Einschaltung liegen. Dieser Komplex führt ganz typische Djetis-Fauna (Sangiran II); übrigens ist auch Sangiran (Bapang) eine alte Fundstelle von Dubois. Nördlich Sangiran fanden sich bei Baringinan in marinen Schichten Hirsche der Djetis-Fauna.

In der Gegend von Modjokerto kommt die Djetis-Fauna aus resp. zwischen marinen Schichten vor, am G. Boetak aus einem vulkanischen Tuff mit Süswassermollusken, bei Sangiran hauptsächlich aus schwarzen Tonen ebenfalls mit Süswassermollusken. Die Gleichaltrigkeit der fraglichen Schichten war bereits durch van Es aus geologischen Gründen angenommen worden.

Die beigegefügte, von Ir. Duyffjes zusammengestellte Uebersichtskarte (Tafel I) gibt die bisher bekannte Verbreitung der obengenannten drei Faunen im Gebiete zwischen Soerakarta und Soerabaja mit den wichtigsten Fundstellen wieder. Man erkennt daraus nicht nur die weite Verbreitung, sondern auch die Bedeutung unserer Faunen für die Parallelisation der verschiedenen Sedimentgebiete. Das Gebiet nördlich des Kendeng lieferte ebenfalls Säugetierreste, doch ist leider bisher noch nicht neu aufgenommen worden. Gerade dort sind besonders interessante Resultate zu erwarten.

Ueber das Boemiajoe-Gebiet möchte ich mich hier nicht weiter auslassen, da ich noch über zu wenig Material verfüge. Vermutlich ist in diesem Gebiet über der Kali Glagah-Fauna in jüngeren Schichten noch Djetis- und vielleicht Trinil-Fauna anwesend.

Wenden wir uns nun nach Besprechung der Fundstellen den einzelnen Faunen zu. Eine Uebersicht über die bisher aufgefundenen Arten vermittelt die Tabelle. (Tafel II).

Aus der Djetis-Fauna sind die folgenden Arten bekannt geworden:

Manis palaeojavanica Dubois.

Von diesem Riesenschuppentier hat sich am G. Boetak eine Phalange gefunden. Nachdem Dubois als seinen Fundplatz dieser Art das unmittelbar benachbarte Kedoeng Broeboes nennt, diese Art aber bisher an keinen der reichen Fundstellen mit Trinil- oder Ngandong-Fauna zum Vorschein gekommen ist, scheint es mir nicht mehr zweifelhaft, dass sie aus dem Djetis-Horizont stammt.

Epimachairodus zwierzyckii n.sp.

(Tafel IV, Fig. 1).

Aus dem schwarzen Tonen von Sangiran liegt der vordere Teil eines linken Unterkieferastes vor. Der

Kiefer hat in der Symphyse losgelassen. Die Schnauzenpartie ist hoch, vorne quer abgestutzt und mit einem deutlichen Processus mentalis zum Schutze des weit heraushängenden mächtigen oberen Caninen versehen.

Von den Incisiven ist I_1 der kleinste. Von den Incisiven ist wenig mehr als die Wurzel vorhanden. Der ebenfalls beschädigte Canin war relativ schwach. Seine Vorderkante lässt noch deutlich die Krenellierung erkennen; die Hinterkante ist leider beschädigt. Nach einem sehr grossen Diastema von 46 mm Länge folgt ein grosser Zahn, der seiner Struktur nach nur ein P_4 sein kann. P_3 war also reduziert, ein Zeichen, dass wir es mit einer sehr spezialisierten Form zu tun haben. Auch dieser Zahn ist nicht vollständig erhalten. Vor dem Talonidhöcker ist er durchgebrochen. Der Zahn ist schmal und schneidend. Das Paraconid ist mehr abstehend und nach vorne, Protonocid und Metaconid stehen dichter zusammen und sind deutlich mehr nach hinten gerichtet. Der Protoconid ist an der Vorderkante gröber, an der Hinterkante feiner krenelliert. Schräg vor dem Zahne nahe dem Unterrand des Kiefers ein grosses tiefes Foramen mentale. Eine Crista mentalis ist am Vorderrand des Lappens ausgebildet.

Die starke Krenellierung, der schwache Canin und das Fehlen eines P_3 kennzeichnen einen Vertreter der *Epimachairodus*-Gruppe. Kretzoi rechnet 4 Arten, alle aus Europa, zu dieser Gattung. Sie scheinen mir alle robuster zu sein wie unsere Form, die ich hiermit nach Dr. Zwierzycki, dem Leiter der Java-Kartierung, benenne. Aus Indien ist nach Pilgrim *Epimachairodus* mit Sicherheit nicht bekannt. Die von hier beschriebenen Arten der oberen Sivaliks gehören meist zu *Machairodus* s. str. und *Meganthereon*.

Epimachairodus kennzeichnet das Oberpliocän und ältere Pleistocän (*Epimachairodus latidens* Owen). Der von Zdansky aus dem Pleistocän von Chou-chou-Tien in China als *Machairodus* sp. beschriebene obere Eckzahn mit starker Krenellierung gehört wohl ebenfalls zu *Epimachairodus*. — Masse: Höhe des Kiefers in der Symphyse: 61 mm; Höhe des Kiefers unter P_4 : 47 mm; Breite des Incisivengebisses: 23 mm; Länge der Krone des Caninen: 12 mm; Länge des P_4 (unvollständig): 20 mm; Breite des P_4 : 9 mm; Höhe des Protoconids: 15 mm.

Felis cf. *tigris* L.

Vom G. Boetak besitzt unsere Sammlung einen Unterkieferast, der in den Proportionen ganz mit dem von *Felis tigris soloensis* v. K. übereinkommt, aber plumpere Prämolaren besitzt. Ob wir es hier mit einer individuellen Abweichung oder eventuell einer neuen Art zu tun haben, wage ich nicht zu entscheiden. Länge $M_1 - P_3$ im Kiefer 64 mm.

Stegodon trigonocephalus cf. *praecursor* v. K.

Das *Stegodon* gleicht sehr der forma *praecursor* von Kali Glagah, doch kommen auch Formen vor (Sangiran), die durch stärker gefalteten Schmelz mehr an das typische *trigonocephalus* erinnern. Die

Liste der bisher aus dem Pleistocän Javas bekannt gewordenen Säugetierarten.

TAFEL II.

	Djetis. G. Boetak Sangiran I.	Trinil. Kedoeng Broeboes Sangiran II. Pitoe.	Ngandong. Koewoengkoelon. Watoealang. Pandejan.
<i>Manis palaeojavanica</i> Dubois	+		
<i>Hystrix</i> sp.		+	
<i>Felis palaeojavanica</i> Stremme		+	+
<i>F. tigris soloensis</i> v. K.		+	+
<i>F. cf. tigris</i> L.	+		
<i>F. cf. pardus</i> L.		+	
(<i>F. groeneveldtii</i> Dubois)		(+) ²⁾	
(<i>Hyaena</i>)		(+) ³⁾	
<i>Epimachairodus zwierzyckii</i> n. sp.	+		
<i>Mececyon trinilensis</i> Stremme		+	
<i>Cuon crassidens</i> v. K.			+
<i>Stegodon trigonochepalus</i> cf. <i>praecursor</i> v. K.	+	+	
<i>St. t. trigonochepalus</i> Martin		+	+
<i>Elephas</i> ex. aff. <i>namadicus</i> Falc.		?	+
<i>E. cf. maximus</i> L.			+
<i>E. sp.</i>			+
<i>Cryptomastodon martini</i> v. K.		?	
<i>Sus macrognathus</i> Stremme		+	+
<i>S. brachygnathus</i> Dubois		+	+
<i>S. terhaari</i> v. K.			+
<i>S. vatualangensis</i> v. K.		(+) ⁵⁾	+
<i>S. coerti</i> n. sp.	+		
<i>S. cf. stremmi</i> v. K.			
<i>S. ex aff. vittatus</i> Temm			+
<i>S. sp.</i>	+		
<i>Hippopotamus</i> (<i>Hexaprotodon</i>) <i>antiquus</i> n. sp.	+	+	+
<i>H. (Hexaprotodon) namadicus</i> Falc.		+	+
<i>H. sp.</i>		+	+
<i>Muntiacus muntjac kendengensis</i> Stremme ..		+	+
<i>M. m. muntjac</i> Zimm.			+
<i>M. sp.</i>		+	+
<i>Cervus (Axis) lydekkeri</i> Martin	?	+	+
<i>C. (Axis) axis javanicus</i> v. K.			+
<i>C. (Rusa) problematicus</i> v. K.	+		+
<i>C. (Rusa) hippelaphus</i> Cuv.		+	+
<i>C. (Rusa) oppenoorthi</i> v. K.			+
<i>C. (Rusa) cf. zwaani</i> v. K.	+		+
<i>Duboisia kroesemii</i> Dubois	?	+	+
<i>Antelope modjokertensis</i> n. sp.	+	+	
<i>A. cf. saätensis</i> n. sp.			
<i>A. sp.</i>	+		
<i>Leptobos cosijni</i> n. sp.	+		
<i>Bos (Bubalus) bubalis palaeokerabau</i> Dubois...		+	+
<i>B. (Bubalus) cf. bubalis</i>		+	+
<i>B. (Bibos) banteng palaeosondaicus</i> Dubois ..		+	+
<i>B. (Bubalus) sp.</i>	+		
<i>B. sp.</i>	+		
<i>Tapirus pandanicus</i> Dubois			
<i>Rhinoceros sondaicus</i> Desm.		+	+
<i>Rh. cf. sondaicus</i> Desm.	+		
<i>Macacus</i> sp.		+	
<i>Pithecanthropus erectus</i> Dubois		+	
<i>Homo neanderthalensis soloensis</i> Oppenoorth			+

Anmerkungen:

- 1) Von Sangiran sind zwei Unterkiefer, von Ngandong nur ein Femurbruchstück bekannt. Ob sie von der gleichen Art stammen, ist fraglich.
- 2) teste Dubois. 1908 ist der Name in *F. trinilensis* verändert; ob das Stück von Trinil stammt, ist sehr unsicher, da Dubois die ganze Fauna „Kendeng oder Trinilfauna“ nennt. Die Art ist nicht abgebildet und ungenügend beschrieben.
- 3) teste Dubois. Wie eben. Weder in der Sammlung des Oporingsdienstes, noch in der Coll. Selenka vorhanden und gänzlich unsicher.
- 4) Nach van der Maarel.
- 5) Wohl aus einem höheren Horizont mit Ngandong-Fauna stammend.
- 6) Das Original stammt aus der Terrassenfauna von Semboengan
- 7) Ob von Trinil (Zahn) und Ngandong (Femur) die gleiche Art vorliegt, ist nicht sicher. Eine Form von unsicherem Alter (Trinil-Fauna?) von Saradan hat Deninger als *Macacus nemestrinus* L. mut. *saradana* beschrieben.
- 8) Nur ein Femur, keine Zähne.
- 9) Die Anwesenheit dieser Art wurde inzwischen festgestellt; es dürfte die selbe sein, die Stremme vorsichtig als *Cervus* sp. bestimmt hat.

Form scheint konstant eine geringere Jochzahl zu haben wie die der Trinil-Schichten.

Elephas sp.

(Tafel IV, Fig. 8 und 9).

In Sangiran fanden sich Bruchstücke von auffallend niedrigkronigen Elefantenzähnen. (Höhe 40 mm, Breite 48 mm). Ob dieser primitive Elefant etwa *E. planifrons* Falc. oder *E. platycephalus* Osborn nahesteht oder wahrscheinlicher eine neue Art vorliegt, wage ich nach dem geringen Material nicht zu behaupten, Vermutlich gehört das von v. d. Maarel als *E. planifrons* bestimmte und ferner das von Stehlin als *Elephas* spec. III bezeichnete Stück aus der Umgebung von Boemiajoe zur gleichen Art.

Sus coerti n. sp.

Von Herrn Dr. Coert — Soerabaja erhielt ich einen aus der Gegend von Djétis stammenden zahnlosen Unterkieferst eines Suiden von der Grösse des *Sus macrognathus*, der durch eine auffallende Auftreibung des Kieferknochens — das Maximum liegt unter M_1 auf der halben Höhe des Kiefers — die Aufmerksamkeit auf sich zog. Nachdem ich bei den kleinen Suiden aus den jüngeren Horizonten eine so starke Auftreibung niemals beobachtet habe und nun ein zweiter, leider ebenfalls zahnloser Kiefer mit ganz den gleichen Merkmalen von Sangiran verliegt, zögere ich nicht, diese Art der Djétis-Fauna mit einem besonderen Namen zu belegen. Länge der Molaren (in der Alveole gemessen): 75 mm, Dicke der Auftreibung unter M_1 : 37 mm.

Sus cf. *stremmi* v. K.

Ein oberer Molar aus Sangiran gleicht noch am meisten dem des *S. stremmi* von Kali Glagah.

Sus sp.

Einige isolierte Schweineezähne lassen sich nicht näher bestimmen. Anscheinend liegt u.a. auch eine Art vor, kleiner und primitiver als *S. brachygnathus*. (Sangiran).

Hippopotamus (*Hexaprotodon*) *antiquus* n. sp.

(Tafel IV, Fig. 4).

Diese *Hippopotamus*-Art ist kleiner als *H. simplex* v. K. von Boemiajoe und unterscheidet sich von ihr dadurch, dass von den 6 etwa gleichgrossen Incisiven die I_2 bereits aus der Reihe und etwas nach oben gerückt sind. Die Höhe des Unterkieferstes beträgt weniger als die Länge der drei Molaren (G. Boetak: Höhe des Unterkiefers unter M_2 98 mm, Länge der Molaren 115 mm). Die Schmelzschlingen der Molaren sind einfach; die oberen Molaren ohne hohen Schmelzkragen.

Hippopotamus sp.

In Sangiran fand sich ein Oberkieferfragment mit einem auffallend breitem dabei primitiv gebauten

M_2 — Länge 40, Breite 48 mm —, der möglicher Weise einer neuen Art angehört.

Muntiacus sp.

Von Sangiran ein isolierte niedriger unterer M_3 von 15 mm Länge.

Cervus (*Rusa*) *problematicus* v. K.

(Tafel III, Fig. 3).

Von diesem grossen Cerviden, den ich auf sehr dürftige Reste von Kali Glagah aufgestellt habe, hat sich inzwischen zahlreiches Material gefunden. Die Länge der Molarenreihe beträgt im Oberkiefer 65 mm; im Unterkiefer ist die Molarenreihe 74 mm, die Prämolarenreihe 46 mm lang. Der P_4 ist im Gegensatz zu dem des *C. hippelaphus* ohne Innenwand in der vorderen Hälfte. Geweihmaterial ist noch spärlich. Die Stange strebt von der Rose aus mehr nach oben als bei *hippelaphus*, auch scheint nicht wie bei diesem der innere, sondern der äussere Spross der längere gewesen zu sein, so dass das Geweih mehr nach dem Typ des sumatranischen Sambar gebaut war.

Cervus (*Rusa*) cf. *zwaani* v. K.

(Tafel III, Fig. 4 und 5).

Ein kleiner Hirsch von der Grösse des *Cervus lydekkeri*, von diesem aber sehr leicht durch die von der Rose fast senkrecht nach oben strebende Stange zu unterscheiden. Ob wirklich die Art von Boemiajoe vorliegt, ist wahrscheinlich, aber noch nicht durch Gebissmaterial erwiesen.

Antilope modjokertensis n. sp.

(Tafel III, Fig. 9 — 11).

In der Djétis-Fauna ist eine mittelgrosse Antilope nicht selten, die *Duboisia* von Trinil an Grösse konstant etwas übertrifft. Da die Hörner noch nicht bekannt sind, vermag die Gattung noch nicht angegeben werden.

Ein unabgekauter unterer letzter Molar von Djétis misst ca. 25 mm Höhe bei 25 mm Länge. Ein Unterkiefer von Sangiran erlaubt folgende Längenmasse: M_3 24, M_2 16, M_1 14, P_4 13 mm. Länge der ganzen Zahnreihe in den Alveolen 112 mm bei *Antilope saätensis* vom Kali Saät.

Antilope saätensis n. sp.

(Tafel III, Fig. 7).

Vom Kali Saät bei Boemiajoe liegen 2 Unterkieferäste einer noch grösseren Antilope vor. Der unabgekaute M_3 hat eine Höhe von 35 bei einer Länge von 31 mm; M_2 Länge 19, M_1 Länge 17 mm. Auch P_4 und P_3 sind hoch, mit zweigeteilter vorderen und hinterer Kulis, und leicht gespaltenem Innenhöcker. Länge des P_4 15 mm, des P_3 14 mm.

Ueber die stratigraphische Position von Kali Saät vermag ich nach dem geringen vorliegenden Material

noch nichts genaues an zu geben. Jedenfalls liegt ein vermutlich zu dieser Art gehörender Rest, den ich als

Antilope cf. saätensis n. sp.

(Tafel III, Fig. 8).

bezeichnen möchte, auch von Sangiran vor. Es ist ein letzter unterer linker, eben angekaufter Molar von 27 mm Länge und 32 mm Höhe.

Antilopen div. spec.

Weiteres Material von Djetis und Sangiran lässt vermuten, dass in dieser Fauna noch mehr Antilopenarten vorhanden waren. Ob darunter auch *Duboisia*, wage ich nicht mit Sicherheit zu behaupten.

Leptobos cosijni n. sp.

(Tafel III, Fig. 1 und 2).

Von Djetis besitzt unsere Sammlung zwei typische *Leptobos*-Schädel. Die Hörner entspringen dicht über den Augen, die Stirne ist eingesenkt und das Hinterhaupt springt nach hinten vor. Die Hörner sind rund von Durchschnitt; sie stehen in einen Winkel von 90° von einander ab, und wenden sich, ziemlich steil nach oben strebend, erst nach aussen und erst spät nach innen, so dass die Spitzen hoch über der Stirne stehen. Der zweite Schädel hat kürzere Hörner und gehörte wohl einem weiblichen Exemplar.

Der Schädel ist gleichgross wie ein Banteng-Schädel; die Hörner sind länger. Anscheinend waren die Tiere sehr hochbeinig, ein von mir zu dieser Art gerechnetes schlankes Metatarsale vom G. Boetak ist 288 mm lang. — Stehlin nennt *Leptobos* auch von Limbangan.

Dubois nennt in seiner Faunenliste einen *Leptobos groeneveldtii*, dessen Beschreibung recht gut auf unsere Form passen würde, wäre nicht eine völlig andere Stelling der Hörner angegeben. — „während sie..... sich erst stark nach oben richten, biegen sie sich dann nach unten und innen zurück bis ihre Spitzen den Augenhöhlen gegenüber kommen“ —. So muss ich die mir vorliegende Form als neu betrachten; von der von Dubois angegebenen Art liegen mir keinerlei Reste vor.

Leptobos findet sich im Oberpliocän Europas, ferner in Indien bis ins Mittelpleistocän. Bei dem europäischen *L. elatus* Pomel ist der Verlauf der Hörner ein ganz anderer, bei dem indischen *L. falconeri* Rütimeyer stehen sie dichter zusammen. Von *L. fraseri* Rütimeyer aus den Narbadas ist nur eine hornlose Form bekannt.

Bos div. spec.

Zahlreiche grosse Zähne weisen auf *Bubalus*, doch sind noch keinerlei Hornkerne bekannt geworden, ebenso wenig von *Bibos*. Ob letztere Art überhaupt in der Djetis-Fauna vorhanden ist, ist mir noch nicht sicher.

Tapirus pandanicus Dubois.

Sehr selten kommt *Tapirus* bei Sangiran vor. Es liegt wohl dieselbe Art vor, die Dubois nennt, und die sich von *T. indicus* durch geringere Grösse und

den weiteren Eingang des Quertales der oberen Molaren unterscheiden soll. Das letztere Merkmal trifft wohl zu, nur ist mein Exemplar mindestens ebenso gross wenn nicht grösser als *T. indicus*. Ein oberer M³ misst 26 mm Länge bei 29 mm Breite.

Rhinoceros div. spec.

Isolierte Zähne und schlechte Kieferreste, meist vom Unterkiefer stammend, lassen nicht mit völliger Sicherheit die Anwesenheit des *Rhinoceros sondaicus* vermuten. Ein Zahnbruchstück von Sangiran gehört vielleicht zu *Coelodonta*.

Der Unterschied zwischen der Djetis- und der Trinil-Fauna ist recht beträchtlich. Letztere enthält:

Hystrix sp.

Ein Zahn von Trinil (Selenka) und einer von Sangiran lassen keine nähere Bestimmung zu.

Felis palaeojavanica Stremme

Felis tigris soloensis v. K.

Zu dem bereits beschriebenen Material (Wet. Mededeel. No. 23) ist nichts neues hinzugekommen.

Felis cf. pardus L.

(Tafel IV, Fig. 2).

Zwei Unterkiefer von Sangiran gehören zu einem sehr kräftigen Panther, wenn nicht, was mir nicht wahrscheinlich ist, eine neue bisher unbekannte Art vorliegt. Länge P₃ — M₁ im Kiefer 56 mm.

Mececyon trinilensis Stremme.

Kein neues Material.

Stegodon t. trigonocephalus Martin.

Material von Trinil ist von der Selenka-Expedition ausführlich beschrieben worden.

Elephas ex aff. namadicus Falc.

(Tafel IV, Fig. 10).

Elefantenreste kommen nach Dubois in Trinil nicht vor; ob die mir von dort vorliegenden aus dem „Hauptknochenhorizont“ stammen, ist unsicher. Sicher aber ist die Art von Kedoeng Broeboes und Sangiran belegt. Von letzterer Fundstelle bilde ich einen Unterkiefer ab, der die hohe Spezialisierung der Art gut erkennen lässt. Der Kiefer ist vorne sehr hoch (25 cm). Die Backenzähne, ohne Zweifel M₃, sind sehr schmal (6,5 — 7 cm), dabei mindestens 27 cm lang; der hinterste Teil steckt noch im Kiefer. Der Schmelz ist ca. 3 mm dick und stark, doch nicht extrem gefältelt. Die Zahl der Lamellen beträgt mindestens 19. Eine ausführliche Darstellung kann hier wegen Raumangel leider nicht gegeben werden.

Cryptomastodon martini v. K.

Zu dem von mir von Sangiran beschriebenen Rest ist ein weiterer Zahn von Pitoe hinzugekommen. Die Deutung als anormalen Zahn eines *Stegodon* (Dubois, Dietrich) muss ich ablehnen.

Sus macrognathus Stremme

Sus brachygnathus Dubois.

Siehe Stremme und Wet. Mededeel. No. 23.

Hippopotamus (Hexaprotodon) namadicus Falc.

(Tafel IV, Fig. 5 und 6).

Von *Hippopotamus antiquus* durch grössere Komplikation der Schmelzfältelung der Molaren, sehr viel höheren Unterkieferast (höher als die Länge der Molarenreihe) und hochgerückte verkleinerte untere I₂ ausgezeichnet. Nachdem der komplizierte *Elephas* des Trinilhorizontes nur aus Britisch-Indien gekommen sein kann, steht auch der Identifizierung unserer *Hippopotamus*-Art mit einer indischen nichts im Wege; alle vergleichbaren bisher bekannten Skeletteile stimmen gut überein.

Muntiacus muntjac kendagensis Stremme.

Cervus (Axis) lydekkeri Martin.

(Tafel IV, Fig. 6).

Siehe Wetenschappelijke Mededeel. No. 23. Sehr häufig und typisch für diesen Horizont.

Cervus hippelaphus Cuv.

Nun in Trinil und Sangiran mit Sicherheit nachgewiesen.

Duboisia kroeseni Dubois.

(Tafel III, Fig. 12 und 13).

Diese kleine Antilope ist neben *Axis* eines der kennzeichnendsten Fossilien dieses Horizontes. Ausführlich beschrieben durch Stremme.

Bos (Bubalus) bubalis palaeokerabau Dubois.

Der Büffel der Trinil-Fauna ist anscheinend schwächer als der der Ngandong-Horizontes. Das grösste Schädel der Selenka-Expedition von Trinil mass nach Stremme 1,5 m zwischen den Hornspitzen. Aus der Ngandong-Fauna von Ngandong, Koevoengkoelon und Sidoredjo liegen mehrere Schädel mit einer Spannweite von über 2 m (bis 2,30) vor. Als

Bos (Bubalus) cf. bubalis L.

bezeichne ich einige Schädel, die in der Grösse des Gebisses und den Schädelproportionen keinen Unterschied mit den grossen Formen aufweisen, aber sehr viel kürzere Hörner besitzen. Von jungen Tieren stammen die Schädel nicht, und da der Karbau in beiden Geschlechtern gleichgrosse Hörner hat, ist es nicht unmöglich, dass hier eine neue Form vorliegt.

Bos (Bibos) banteng palaeosondaicus Dubois.

Rhinoceros sondaicus Desm.

Siehe Wet. Mededeel. No. 15 und 23.

Macacus sp.

Von der Selenka-Expedition angegeben.

Pithecanthropus erectus Dubois.

Nachdem die Fauna von Kedoeng Broeoes ganz mit der von Trinil übereinkommt, besteht mehr Wahrscheinlichkeit, dass von ersterer Fundstelle stammende zahnlose Unterkieferfragmente, von Dubois ursprünglich als *Homo* beschrieben, wirklich zu *Pithecanthropus* gehört. Ein Bruchstück eines grossen, leider sehr ausgeschliffenen Molaren von Sangiran lässt auch hier die Anwesenheit von *Pithecanthropus* vermuten.

Die Anwesenheit echter Homoniden (Femur von Trinil?) kann bei dem noch zu besprechenden relativ jungen Alter von Trinil als nicht ganz ausgeschlossen geachtet werden.

Die Fauna von Ngandong steht der eben besprochenen ausserordentlich nahe, so dass die Liste in der Hauptsache die schon eben erwähnten Arten enthält. Auf die Fauna bin ich bereits früher (Wet. Mededeel. No. 23, pg. 87) ausführlicher eingegangen.

Felis palaeojavanica Stremme

Felis tigris soloensis v. K.

Felis cf. pardus L.

Cuon crassidens v. K.

Nur ein Unterkiefer von Pandejan bekannt.

Stegodon t. trigonocephalus Martin.

Elephas ex aff. namadicus Falc.

Elephas cf. maximus L.

Es hat den Anschein, als ob in dieser Fauna neben dem schmalzahnigen *Elephas ex aff. namadicus* noch eine weitere Form mit breiteren Zähnen vorkommt, die v. d. Maarel seiner Zeit mit dem indischen Elefanten vergleichen hat; doch ist sie offensichtlich primitiver. Ob sie wirklich etwas besonderes darstellt, kann nur eine eingehende Bearbeitung des Elefantenmaterials ausweisen.

Sus terhaari v. K.

(Tafel IV, Fig. 3).

Dieser grosse Suide scheint für die Ngandong-Fauna typisch zu sein. Fand sich an Fundstellen mit Trinil-Fauna nur in Pitoe; da aber von hier auch *Axis axis* vorliegt, scheint es sich wahrscheinlicher um eine sekundäre Faunenmischung zu handeln.

Sus macrognathus Stremme

Sus brachygnathus Dubois

Sus vatualangensis v. K.

Sus ex aff. vittatus Temm.

Leider ist nur ein schlechter Eckzahn vorhanden, der zu dieser Art gestellt werden kann.

Hippopotamus (Hexaprotodon) namadicus Falc.

Im Ngandonghorizont häufiger als in dem von Trinil.

Muntiacus muntjac Zimm.

Neben der typischen Art kommt selten die als *kendengensis* ausgeschiedene Form vor.

Cervus (Axis) lydekkeri Martin.

Im Ngandong-Horizont ausserordentlich selten.

Cervus (Axis) axis javanicus v. K.

(Taf. IV, Fig. 7).

Dieser Hirsch ist sehr häufig und recht eigentlich das Leitfossil der Ngandong-Fauna.

Cervus hippelaphus Cuv.

Cervus oppenoorthi v. K.

Bos (Bibos) banteng palaeosondaicus Dubois.

Bos (Bubalus) bubalis palaeokerabau Dubois.

Rhinoceros sondaicus Desm.

Anthropoide gen et. sp. indet.

Von einem kleinen Anthropoiden sind nur schlechte Femurbruchstücke von Ngandong bekannt.

Homo neanderthalensis soloensis
Oppenoorth.

Der Neanderthaler von Ngandong — von ihm liegen bisher Reste von 11 Schädeln und 2 Tibien vor; eine Bearbeitung des wichtigen Materiales durch Prof. Mijnsberg-Batavia ist zu erwarten — ist von Oppenoorth als *Homo (Javanthropus) soloensis* beschrieben. Doch hat besonders das neu aufgestellte Subgenus keine Anerkennung gefunden. Weidenreich¹⁾ nennt die Art einfach *Homo primigenius asiaticus*, doch muss dieser Name nach dem Regeln der Priorität in der angegebenen Weise verändert werden. An verschiedenen Stellen haben sich auch Steingeräte und bei Sidoredjo eine Lanzenspitze aus Knochen gefunden. Eine Bearbeitung der interessanten Funde durch Dr. P. V. van Stein Callenfels ist noch nicht abgeschlossen.

In der allgemeinen Zusammensetzung gleichen sich unsere drei Faunen sehr. Alle drei müssen mit den zahlreichen Hirschen und Schweinen und dem nicht seltenen *Hippopotamus* als Waldfaunen betrachtet werden. Interessant sind die Antilopen: in der Djetis-Fauna mindestens noch drei, in Trinil eine und in Ngandong keine Art mehr. Antilopen brauchen an sich durchaus keine Steppentiere zu sein, ihr Vorkommen kann, da sie mit zahlreichen Hirschen vergesellschaftet sind, nicht in diesem Sinne ausgelegt werden.

Eine auffällige Erscheinung der Trinil- und Ngan-

dong-Fauna sind die spezialisierten Elefanten, die unvermittelt auftreten und in der Djetis-Fauna keine Vorgänger haben, denn die dort vorkommende sehr ungenügend bekannte Art scheint einer primitiv gebliebenen Nebenform anzugehören, was schon aus ihrem Vorkommen neben einem so spezialisierten *Stegodon* hervorgeht. Der primitive *Elephas planifrons* kommt in Indien neben einem primitiven *Stegodon* vor. *Elephas* ex aff. *namadicus* ist zweifellos ein Einwanderer aus Asien und sehr wahrscheinlich mit der indischen Art identisch, welche Frage jedoch erst nach Auffinden des noch immer unbekannten Schädels gelöst werden kann. — *Hippopotamus antiquus* ist sehr deutlich der Vorläufer des *H. namadicus*.

Als brauchbare Leitfossilien für die verschiedenen Faunen, — wobei nur häufiger vorkommende Arten genannt sind, die übrigen ergeben sich ja aus der beigefügten Liste — glaube ich, nach meiner bisherigen Erfahrung, betrachten zu dürfen: Ngandong-Fauna *Cervus (Axis) axis javanicus*

v. K. (Taf. IV, Fig. 7).

Sus terhaari v. K. (Taf. IV, Fig. 3).

Trinil-Fauna

Cervus (Axis) lydekkeri Martin (Taf. III, Fig. 6).

Duboisia kroeseni Dubois (Taf. III, Fig. 12 — 13).

Djetis-Fauna

Leptobos cosijni n. sp. (Taf. III, Fig. 1 u. 2).

Antilope modjokertensis n. sp. (Taf. III, Fig. 9 — 11).

Cervus problematicus v. K. (Taf. III, Fig. 3).

Cervus cf. *zwaani* v. K. (Taf. III, Fig. 4 — 5).

Hippopotamus antiquus n. sp. (Taf. IV, Fig. 4).

Die drei letztgenannten Arten charakterisieren jedoch die Djetis-Fauna nur gegenüber den jüngeren Faunen, denn sie kommen schon in der älteren Kali Glagah-Fauna vor und vermitteln den Uebergang zu dieser, als deren typische Leitform wir *Mastodon bumiajuensis* v. d. Maarel betrachten müssen.

Das Alter der javanischen Säugetierfaunen und ihr Vergleich mit denen Britisch-Indiens.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass wir auf Java die folgenden Säugetierfaunen unterscheiden können: (Rezente Fauna) Sampoeng-, Ngandong-, Trinil-, Djetis-, Kali Glagah-, Tji Djoelang- und Tji Sande-Fauna.

Im Zusammenhang mit unserer Frage nach der Abgrenzung der Pleistocänablagerungen muss uns zunächst die Fauna von Kali Glagah (b. Boemiajoe; unterer Wirbeltierhorizont) interessieren. Als das Leitfossil für diese Faunen dürfen wir *Mastodon (Trilophodon) bumiajuensis* v. d. Maarel betrachten, das in Kali Glagah nicht selten und sicher von mehr als localer Bedeutung ist. Daneben tritt ein spezialisiertes (d.h. gegenüber den jüngeren Formen primitives) *Stegodon* auf, das ich a.d. als *Stegodon trigonocephalus praecursor* beschrieben habe. Im Vergleich mit den *Stegodon*-Arten Britisch-

¹⁾ Zeitschr. f. Anatomie u. Entwicklungsgesch. 99, pg. 249. Berlin 1932.

Indiens lässt sich zeigen, dass unsere Art nach ihrer Entwicklungshöhe relativ jung sein muss, d.h. jünger als Mittelpliozän (Tatrot-Zone der Sivaliks) und ich habe die Fauna von Kali Glagah daher der Pinjor-Zone Indiens gleichgesetzt. Auf meiner s. Z. pg. 108 gegebenen Uebersicht ist mir ein Versehen unterlaufen. Das von Osborn aufgestellte hochspezialisierte *Stegodon pinjorensis* kommt nicht, wie man aus dem Namen schliessen sollte und wie ich daher auch angenommen hatte, aus der Pinjor-Zone, sondern aus dem altpleistocänen Boulder conglomerate. Ferner enthält die Kali Glagah-Fauna primitive *Hippopotamus*-Arten, *Hippopotamus (Hexaprotodon) simplex* v. K. und *antiquus*, zahlreiche Hirsche — *Cervus problematicus*, *C. zwaani*, *C. stehlini* — neben seltenen noch nicht beschriebenen Rindern und Antilopen. Interessant ist die riesige Landschildkröte, *Colossochelys atlas* Falc., von welcher Barnum Brown ein fast vollständiges Exemplar in altpleistocänen Schichten Indiens entdeckte. Diese Art weist somit auch auf ein relativ junges Alter unserer Fauna hin.

Indem wir nun die Fauna von Kali Glagah wegen des Vorkommens eines spezialisierten Stegodonten (und beim Fehlen von altertümlichen Formen besonders aus dem Kreise der Suiden und Carnivoren) mit der Pinjor-Zone Indiens verglichen und als Oberpliocän betrachtet haben, fragt es sich, welches Alter der nächst jüngeren Djetis-Fauna zu kommt. Dafür gibt es die Möglichkeiten: entweder sie gehört dem jüngeren Oberpliocän — Kali Glagah dann älteres Oberpliocän — oder dem Unterpleistocän an, oder sie nimmt eine vermittelnde Stellung ein.

Ehe wir auf diese Frage eingehen, wollen wir uns zunächst mit dem Alter der folgenden jüngeren Trinil-Fauna auseinander setzen, denn darüber besteht bereits sehr viel Literatur. Wenn wir auch, wie ich pg. 188 auseinandergesetzt habe, unter der Trinil-Fauna etwas anderes verstehen wollen als Dubois, nämlich wirklich die Fauna von Trinil und sicher damit zu vergleichende Fundstellen, so ändert dies doch nichts am Kernpunkt des Diskussion. Durch die eben gemachte Einschränkung müssen wir folgende von Dubois genannte Arten vorläufig als nicht zur eigentlichen Trinil-Fauna gehörig betrachten:

Manis palaeojavanica,
Felis oxygnatha,
F. groeneveldtii,
F. microgale,
Hyaena bathygnatha,
Lutra palaeoleptonyx,
Rhinoceros kendengindicus,
Tapirus pandanicus,
Cervus palaeomendjangan,
Leptobos groeneveldtii,
L. dependicornis,
Bibos protocavifrons.

Alle diese Arten sind mit Ausnahme von *Manis nomen nuda*. Sie stammen vermutlich aus anderen Horizonten, *Manis* und *Tapirus* sicher aus dem Djetis-horizont. Ohne genaue Beschreibung und Abbildung können sie in einen Vergleich nicht hinbezogen werden; im übrigen befindet sich darunter keine Gat-

tung, die a priori ein pliocänes Alter rechtfertigen würde. *Felis*, *Hyaena*, *Lutra*, *Manis*, *Rhinoceros*, *Tapirus*, *Cervus* und *Bibos* sind alle rezent, und *Leptobos* kommt noch im Mittelpleistocän Indiens vor.

Für ein pliocänes Alter von Trinil sprechen sich ausser Dubois nur Hilber und Oppenoorth aus. Hilber's Ausführungen beruhen lediglich auf Literaturstudien, und Oppenoorth hat seine Ansicht nie begründet. So bleibt uns nur die Beweisführung von Dubois — der die Trinil-Fauna anfänglich auch für pleistocän hielt, — mit der wir uns näher auseinander zu setzen haben.

Am ausführlichsten sucht Dubois 1908 seine Ansicht zu begründen. So weist er auf die Aufrichtung und Aufhebung hin, die die Schichten z. T. erfahren haben. Dem ist einmal entgegen zu halten, dass die starke Faltung, die das Jungtertiär im Inneren des Kendengsgebirges betroffen hat, — vergl. Rutten pg. 119, Fig. 32 —, in keiner Weise verglichen werden kann mit den Bewegungen, die die Trinilschichten mit einem Einfallen bis zu höchstens 15° beeinflusst haben. Diese Schiefstellung kann mit der intensiven Faltung im Inneren des Kendeng nichts zu tun haben, sondern steht wohl im Zusammenhang mit der jüngeren Aufhebung der Kendengkette östlich vom G. Pandan, für die sich Dubois doch selbst schon einsetzt (1908, pg. 1240), ebenso auch Elbert (1909, pg. 515) und Rutten (pg. 130). Diese Aufhebung muss jung sein, wie die Terrassenfauna beweist. Diese Bewegung hat hier das Kendenggebirge wohl en bloc betroffen, so dass die Terrassen im Solodurchbruchtal ungefähr horizontal liegen. Jedenfalls ist die Aufrichtung der Kendengschichten kein Beweis für ihr vordiluviales Alter, worauf wir schon zu Beginn hingewiesen haben.

Das einzige Argument, das bei der Beurteilung der Trinil-Fauna eine Rolle spielen darf, ist eben die Fauna selbst. Die erste Faunenliste hat Dubois 1892 publiziert, die letzte 1908. Enthielt die erste eine ganze Reihe rezenter Arten, — wie in zwischen nachgewiesen ist, mit Recht, — so enthält die von 1908 nur neue, dabei eigentlich keine Formen, die neue Gesichtspunkte in das Problem der Alterstellung bringen würden. Dennoch sind seine Schlussfolgerungen:

1892.

„Uit het bovenstaande blijkt duidelijk, dat deze fossiele vertebraten-fauna van Midden-Java niet met die „uit de Siwaliks van Voor-Indië overeenkomt, doch dat „haar bepaald in de pleistocene formatie eene „plaats behoort te worden aangewezen“.

1907

„Wat nu betreft de ouderdom der fossiele vertebraten-fauna van Java, uit haar geheele karakter is deze thans „met voldoende zekerheid vast te stellen. Hij kan slechts „jong-pliocään zijn“.....

Es ist psychologisch sehr interessant wie immer wieder versucht wird, pleistocäne Fundstellen nach der Entdeckung von Urmenschenresten, — um diesen eine erhöhte Bedeutung zu geben — für pliocän zu

erklären. Das gleiche war auch bei Chou-Kou-Tien und Piltown der Fall.

Dubois waren die Ähnlichkeiten unserer Fauna mit der der indischen Narbadas nicht entgangen. Er versuchte daher die Narbadafauna für pliocän zu erklären.

„Was die vielbesprochene, aber verhältnismässig spärlich bekannte Narbada-Fauna anbelangt, welche eine beträchtliche Zahl ausgestorbener Säugetierarten enthält, man hat sie eigentlich bloß aus diesem Grunde dem älteren Pleistocän zugerechnet, dass sie in Vorder-Indien, so viel man bis jetzt gefunden hat die nächst jüngere der pliocänen Siwalikfauna darstellt. Kein guter Grund, ausser vielleicht dem Fossilisierungsgrad der Knochen, könnte uns aber hindern sie in das jüngere „Pliocän zu stellen“. — Dubois 1908, pg. 154.

Eine Ablagerung, die jünger ist als eine jungpliocäne, — die obersten Schichten der Siwaliks, das Boulder conglomerate, ist nur nach älterer Auffassung jungpliocän, nach neuerer altdiluvial! —, muss doch wohl auf jeden Fall diluvial sein. Auch Hilber hat versucht, die Narbadafauna für pliocän zu erklären. Seine Ausführungen beruhen nur auf Literaturstudien und sind ohne Ueberzeugungskraft.

Als Beweis für eine pliocäne Alter der Kendengfauna wird ferner angeführt, dass sie keine lebenden Arten enthalte. Wie wir oben gesehen haben, ist diese Auffassung nicht richtig. Selbst Stremme, der, wie v. d. Maarel zeigen konnte, den Artbegriff zu eng gefasst hatte, konnte sich doch nicht entschliessen, trotz dieses Argumentes die Kendengfauna für pliocän zu erklären, und hat die Frage nach dem Alter offen gelassen.

Die Beziehungen der Trinil-Fauna zur lebenden sind so stark, dass auch Dubois sie nicht einfach übersehen konnte. Damit diese Ähnlichkeit kein Hindernis für das von ihm vorgestellte hohe Alter von Trinil sei, vertrat er die Ansicht, dass die pleistocäne Fauna tropischer Gebiete weniger von der recenten verschieden sei als die der von der Vereisung unmittelbar und mittelbar betroffenen Gebiete. Wie wenig diese Auffassung berechtigt ist, haben wir schon zu Beginn feststellen müssen.

Stremme und Blanckenhorn haben sich beide nicht zu einer bestimmten Ansicht, ob pliocän, ob pleistocän, entscheiden können. Auf Blanckenhorn's verfehlte und unbegründete Zuteilung zu einem „Pluvial“ haben wir bereits hingewiesen. Gerade der Platz Trinil ist zu einer Beurteilung der Lagerungsverhältnisse sehr ungeeignet. Man muss die Trinilschichten am G. Boetak sehen, wo sie den Unterteil einer konkordanten Schichtserie ausmachen.

Alle übrigen Autoren, ich nenne nur Dietrich, Elbert, van Es, Kayser, v. Koenigswald, v. d. Maarel, Martin, Schuster, Soergel, Osborn, Werth, Voltz etc. sind für ein pleistocänes Alter von Trinil eingetreten und haben ihre Ansichten z. T. auf sehr eingehende Weise begründet, wobei sie nicht nur von der Säugetier- sondern auch von der fast rezent anmutenden Mollusken-Fauna und der Flora ausgegangen sind. Am pleistocänen Alter von Trinil ist nicht zu zweifeln.

Nun fragt es sich weiter, welche genauere strati-

graphische Position innerhalb des Pleistocän der Trinilkomplex einnimmt. Dazu eignet sich keine Gruppe besser als die der Proboscidiar; von diesen stehen uns sowohl *Stegodon* als auch *Elephas* zur Verfügung.

Ueber die Stegodonten von Trinil haben sich verschiedene Spezialisten geäußert. Auf Grund der hohen Spezialisierung spricht sich Dietrich für ein Jung-Jüngstpleistocänes, Osborn für ein Mittelpleistocänes Alter aus. Soergel spricht nur von einem sicher pleistocänen Alter, doch ist dieses Urteil schon darum sehr wichtig, da die Proboscidiar des jüngsten Pliocän und des ältesten Pleistocän wenn überhaupt so doch nicht von vorne herein zu unterscheiden sind; die Meinung dieser drei Spezialisten stimmt also zusammengefasst darin überein dass das *Stegodon* von Trinil nicht dem ältesten Pleistocän angehören kann, sondern deutlich jünger sein muss.

Wie über die anderen von ihm aufgestellten Arten macht Dubois auch über *Elephas* nur sehr unvollständige Angaben. 1892 als *Elephas indicus* aufgeführt, wird er 1908 *Elephas hysudricus* genannt, da er zwischen *hysudricus* und *indicus* vermitteln soll. Schon daraus ist ein recht jugendliches Alter zu folgern. Die Lamellenzahl der Molaren geht (nach Dubois) nicht über 19, — „kein pliocäner *Elephas* besitzt eine derartig hohe Lamellenzahl der letzten Molaren“ (Dietrich pg. 134) —, eine Lamellenzahl die auch unser von Sangiran abgebildeter Unterkiefer besitzt. Mir scheint vorläufig die Aufstellung einer neuen Art nicht berechtigt; unser Elefant dürfte wohl identisch sein mit *Elephas namadicus*, welcher von anderen wiederum mit *E. antiquus* vereinigt wird. Janensch vergleicht ein von der Selenka-Expedition „Gendingan“ gesammeltes sehr hoch kroniges Zahnbruchstück ebenfalls mit *E. antiquus*, Osborn einen ihm von Prof. Dubois von Java zur Verfügung gestellten Zahn mit *Palaeoloxodon namadicus*, worauf er sich für ein mittelpleistocänes Alter ausspricht. (1931, pg. 187).

Aus der ganzen Diskussion über diesen *Elephas* geht hervor, dass er, dem *E. indicus* relativ nahestehend, nicht mit dem primitiveren Arten des ältesten Pleistocän resp. obersten Pliocän wie *E. hysudricus* und *meridionalis* verglichen werden kann. Diese beiden Proboscidiar der Trinil-Fauna weisen also darauf hin, dass hier ältestes Pleistocän nicht vorliegen kann; wir werden weiter noch sehen, dass sich die Trinil-Fauna für ihren ganzen Charakter nach am besten mit der mittelpleistocänen Narbada-Fauna vergleichen lässt.

Da nun die Trinil-Fauna nicht dem älteren Pleistocän angehört, so muss dies die konkordant darunter liegende Djetis-Fauna. So komme ich zu der Auffassung, die Djetis-Fauna für altpleistocän anzusehen. Auf die Frage, ob sie noch etwa einen Teil des Pliocän mit vertritt, werden wir weiter unten noch einzugehen haben.

So haben wir jedenfalls die Djetis-Fauna als die älteste pleistocäne Fauna Javas zu betrachten. Sie vermittelt in vorzüglicher Weise zwischen den Faunen von Trinil und von Kali Gla-

gah, welche beide nach unserem bisherigen Wissen nicht eine sichere Art gemeinsam haben.

Die Fauna von Djetis enthält an Formen der Kali Glagah-Fauna: *Sus* cf. *stremmi*, *Hippopotamus* (*Hexaprotodon*) *antiquus*, *Cervus problematicus* und *Cervus* cf. *zwaani*. Mit der Fauna von Trinil sind vergleichbar: *Rhinoceros* cf. *sondaicus*, *Cervus* cf. *Axis lydekkeri*, *Antilope* cf. *Duboisia* und *Bubalus* cf. *bubalis*. Ihren eigenen Charakter erhält die Fauna besonders durch das Vorkommen von *Antilope modjokertensis*, *Bibos cosijni* und *Manis palaeojavanica*. Das *Stegodon* scheint zwischen dem *St. trigonocephalus praecursor* von Boemijoe und dem typischen *St. t. trigonocephalus* von Trinil zu vermitteln, jedoch der erstgenannten Form näher zu stehen. Ich bezeichne es daher vorläufig als *Stegodon trigonocephalus* cf. *praecursor*.

Von *Elephas* ist nur eine primitive, vorläufig leider nicht näher bestimmbare Art nachgewiesen. Sie scheint stratigraphisch nicht unwichtig, da sie anscheinend, wie auch die *Antilope* cf. *saätensis* in den oberen Wirbeltierschichten von Boemijoe resp. im Kali Saät vor zu kommen scheint. Leider liegen aus diesen Schichten im Boemijoe-Gebiet nur wenig Funde vor, aber es ist zu vermuten, dass dort das Profil von dem Kali Glagah bis zum Trinil-Horizont durchläuft.

Eine Annäherung an die Trinil-Fauna zeigen die im Djetis-Horizont bereits massenhaft vorkommenden Rinder, unter denen jedoch *Bibos* bisher nicht sicher nachgewiesen ist.

Für die Fauna von Trinil verweise ich auf die gegebene Liste. Die mit der Djetis-Fauna gemeinsamen Formen waren schon eben angeführt. Ihren Charakter erhält die Fauna durch das massenhafte Vorkommen von *Axis lydekkeri* und *Duboisia kroeseni*. Weitere Antilopen fehlen, ebenso *Leptobos*. Das Flusspferd *Hippopotamus* (*Hexaprotodon*) *namadicus* ist spezialisierter als das der Djetis-Fauna; und besonders interessant ist das Vorkommen des schon besprochenen spezialisierten *Elephas* ex aff. *namadicus* in diesen Schichten.

Das plötzliche Auftreten dieses Elefanten kann nur auf eine Landverbindung mit dem festen Land von Asien zurück zu führen sein. Sehr wahrscheinlich hat ein Austausch stattgefunden, denn das mit *Elephas namadicus* in den Nabadas vorkommende *Hippopotamus namadicus* gleicht ganz unserer javanischen Form. Auf der gleichen Landbrücke muss auch der *Pithecanthropus*, — von dem eine sehr nahestehende Form der *Sinanthropus*, im Altpleistocän von China gefunden ist, — im Mittelpleistocän Java erreicht haben, vielleicht gleichzeitig mit dem Neanderthaler, der zwar sicher erst in der Ngandong-Fauna nachgewiesen ist, dem aber doch mit grosser Wahrscheinlichkeit das Trinil-Femur zu zuschreiben ist. Die Diskussion darüber ist noch nicht abgeschlossen.

Im ganzen gesehen zeigt die Trinil-Fauna eine sehr grosse Annäherung an die recente Tierwelt Javas. An gänzlich ausgestorbenen Gattungen enthält sie nur *Mececyon*, *Duboisia* und *Stegodon* während *Elephas* (und *Hyaena*) wohl auf Java, aber nicht in Asien, *Hippopotamus* wohl in Asien, aber nicht in Afrika ausgestorben sind. Wie viel mehr ausgestor-

bene Arten enthält im Gegensatz dazu die mit einem etwa gleich hoch spezialisierten Elefanten (*Elephas antiquus recki*) vorkommende etwa gleichaltrige afrikanische Oldoway-Fauna!

Auf die Trinil-Fauna folgt die Ngandong-Fauna, bisher nur in der Gegend von Ngawi nachgewiesen. *Axis lydekkeri* ist sehr selten, massenhaft dagegen *Axis axis javanicus*, so recht das Leitfossil dieser Fauna. Ein grosser Suide, *Sus terhaari*, scheint den älteren Ablagerungen zu fehlen. Ein Elefant ist vielleicht noch spezialisierter als der der Trinil-Fauna; ein Unterkiefer von Koewoeng wurde von v. d. Maarel als *Elephas* (?) *maximus* beschrieben:

Der Urmensch von Ngandong, als *Homo neanderthalensis soloensis* zu bezeichnen, stimmt besonders gut mit dem südafrikanischen *Homo rhodesiensis* überein, für den ebenfalls ein sehr junges geologisches Alter wahrscheinlich ist. — Bei Sidoredjo nahe Watoelang fand sich in der gleichen Schicht wie *Hippopotamus* eine beiderseits mit Widerhacken versehene Lanzenspitze aus Knochen von einem Typ, wie er in Europa frühestens im jüngeren Palaeolithicum erscheint.

An völlig ausgestorbenen Gattungen enthalten unsere drei Faunen:

	Djetis-	Trinil-	Ngandong-Fauna.
<i>Mececyon</i>		+	
<i>Epimachairodus</i>	+		
<i>Leptobos</i>	+		
<i>Duboisia</i>	?	+	
<i>Stegodon</i>	+	+	+
<i>Cryptomastodon</i>		+	

Diese Liste gibt die Verhältnisse nicht völlig gerecht wieder. Die Djetis-Fauna enthält in Wirklichkeit noch mehr ausgestorbene Gattungen. „*Antilope*“ *modjokertensis*, der primitive *Elephas* sp. und die gewaltige Terminalform *Manis palaeojavanica*, sie gehören wohl sicher in die Reihe der völlig erloschenen Gattungen. Andererseits haben wir den *Pithecanthropus* der Trinil-Fauna, der von einigen auch als *Homo* bezeichnet wird, nicht genannt, da er wohl eine Vorläuferform des Menschen darstellt, so dass er gewissermassen durch *Homo* fortgesetzt wird. Jedenfalls macht die Djetisfauna sehr deutlich den altertümlichsten Eindruck, und dabei darf man nicht vergessen, dass von ihr eigentlich noch am wenigsten bekannt ist und hier noch Ueberraschungen zu erwarten sind. Der jugendliche Charakter der Ngandong-Fauna mit nur einer fossilen Gattung, *Stegodon*, muss auffallen.

Zwischen die Ngandong- und die recente Fauna schiebt sich die Sampoeng-Fauna ein. Sie enthält von Typen der Ngandong-Fauna den riesigen Büffel, ferner dürfte der Elefant, von Dammern vorläufig als *Elephas maximus* bestimmt, doch besser mit der Art von Ngandong übereinstimmen. Ihr besonderes Gepräge aber erhält sie durch den heute auf Indien beschränkten *Cervus eldi*. (Zuerst von Dammern erkannt). Die Klein-

fauna (diese von van Es und van Stein Calenfels ausgegrabene Fauna stammt aus einer Grotte) ist ebenfalls noch nicht ganz durchbestimmt. An besonders interessanten Formen enthält sie ferner noch einen Leporiden, (jedenfalls nicht die heute noch auf Java lebende Art), und neben der heute auf Java vorkommenden kleinen *Felis bengalensis* eine zweite kleine Katzenart, vielleicht verwandt mit der lebenden indischen *Felis rubiginosa*.

Die Sampoeng-Fauna darf unser besonderes Interesse beanspruchen; sie ist, wenn auch bisher nur schlecht belegt, auch aus anderen Höhlen nachgewiesen und muss eine grössere Verbreitung besitzen. Trotz aller Eigenheiten ist die Fauna, geologisch gesprochen, nicht alt. Die gleichen Schichten enthielten Kulturreste einer neolithischen Bevölkerung; Skelettreste einer Papua-artigen Menschenrasse, zahlreiche Knochengeräte und ferner geflügelte typisch neolithische Pfeilspitzen aus Silex. Viel älter als etwa 5 — 6000 Jahre dürfte die Fauna, den mitgefundenen Kulturresten nach zu schliessen, nicht sein, sie ist somit sicher alluvial. Die starke Veränderung, die die javanische Fauna also noch in quasi historischen Zeiten erlitten hat, ist sehr auffallend und vielleicht durch die Inselnatur zu erklären, ein Zustand, in dem Java vermutlich sich erst seit relativ kurzer Zeit befindet, nachdem zur Zeit der Trinil-Fauna eine wohl für längere Zeit andauernde Verbindung mit dem festen Land von Asien sich herausgebildet hatte.

Die Sampoeng-Fauna müssen wir als alluvial, die Kali Glagah-Fauna als pliocän aus der Liste der pleistocänen Faunen herauslassen, die somit Ngandong-, Trinil- und Djetis-Fauna umfasst. Wir kommen also auf Grund der Säugetierfaunen zu einer Dreiteilung des javanischen Pleistocän.

Dieses Resultat, das völlig unvoreingenommen gewonnen wurde, ist da durch besonders bemerkenswert, dass nicht nur die pleistocäne Säugetierfauna Europas und Nordamerikas sich auf drei Faunas verteilen lässt (hier spielt z. T. der Einfluss der einzelnen Eiszeiten eine Rolle), sondern dass auch Afrika etwas ähnliches erkennen lässt. Auf eine altpleistocäne Fauna mit *Dinotherium* und *Mastodon*, — die gleiche Fauna hat man früher für miocän oder pliocän erklären wollen! — folgt die mittelpleistocäne von Oldoway mit *Elephas antiquus recki*. Ueber die jungpleistocäne Fauna sind wir noch nicht gut unterrichtet. In Britisch Indien, das uns bei einem Vergleich immer am wichtigsten ist, werden ebenfalls drei pleistocäne Horizonte unterschieden: Carnul-Caves, Narbada-Beds und Boulder-Conglomerate. Mit diesen Horizonten, die jeweils durch eine besondere Fauna charakterisiert sind, wollen wir noch kurz unsere javanischen Faunen vergleichen.

Die Fauna der Carnul-Höhlen bei Madras ist eine typische Höhlenfauna, d.h. sie enthält vor allem die Reste kleiner und kleinster Säugetiere und ist daher zu einem Vergleich mit der aus Sanden und Schottern stammenden Fauna von Ngandong sehr wenig geeignet. Elefantenreste, die für eine Parallelisation besonders wichtig wären, haben die Carnul-Caves leider nicht geliefert. Beide Faunen sind sehr angenähert an die heute noch in den betreffenden Gebieten le-

bende Fauna, die Ngandong-Fauna etwas weniger als die indische, aber das hängt wohl mit der Inselnatur Javas zusammen, die ein Aussterben resp. eine stärkere Umwandlung der Arten begünstigen musste. Die Trinil-Fauna ist bereits von Dubois, ferner von Stremmé und dem Verf. mit der der Narbada-Beds verglichen worden. Eine Uebereinstimmung ist deutlich, besonders was die spezialisierten Arten von *Stegodon*, *Elephas* und *Hippopotamus* betrifft, doch war darauf schon hingewiesen worden. Vergleichen wir ferner die Fauna von Djetis mit der des Boulderconglomerate, so lassen sich auch hier leicht Parallelen aufdecken. Beiden Faunen fehlen die spezialisierten typisch tertiären Suiden und Carnivoren; die Stegodonten beider Faunen sind von der selben Spezialisationshöhe und die *Hippopotamus*-Arten, *Hippopotamus sivalensis* in Indien und *H. antiquus* auf Java, beide primitiv. Dass beide Horizonte auch *Lepitobos* und *Epimachairodus* gemeinsam haben, ist wahrscheinlich. Da auf Java der für diese Periode für Indien typische *Elephas hysudricus* fehlt — Angaben über sein Vorkommen auf Java haben sich nicht bestätigen lassen —, hat eine direkte Verbindung mit Asien um diese Zeit wohl nicht bestanden. Dass Sumatra bisher noch überhaupt keine sicheren pleistocäne Säugetierreste lieferte, sei hier eben vermerkt.

Die Auffassungen über das Alter des Boulderconglomerate haben sich im Laufe der Zeit sehr gewandelt. Falconer hielt es noch für miocän, Lydekker für pliocän, Pilgrim erst für eine Uebergangsauna vom Pliocän zum Pleistocän, doch hat er sich in der letzten Zeit der Auffassung Matthew's angeschlossen und sieht es nun für rein pleistocän an.

Wir können nun die Fauna von Kali Glagah mit keiner älteren indischen Fauna als mit der der Pinjor-Zone vergleichen. Dass beide Faunen nun auch die gleiche Abgrenzung nach oben haben, ist eine unbewiesene Annahme. Wenn wir uns ihr anschliessen, — in dem wir in der Altersbestimmung Pilgrim folgen —, so müssten wir auf Java die Grenze zwischen Pliocän und Quartär zwischen die Faunen von Djetis und Kali Glagah legen.

Für Indien hat diese Grenze sicher faunistisch und petrographisch ihre Vorteile. Für Java könnte sie, was die Säugetierfauna betrifft, ruhig wie eben formuliert gelegt werden. Gegen eine derartige Grenzziehung lässt sich nun einwenden, dass die marine Molluskenfauna von Djetis, aus dem gleichen Horizont wie die Säugetiere, verschiedene Arten enthält (wie *Cominella sangiranensis* und *Clavilithes verbeeki*, *Olivancillaria cheribonensis*), die nach bisheriger Erfahrung typisch pliocän sind. Martin hält diese Schichten daher für allerjüngste Pliocän. Ist die Prozentmethode auch rein theoretisch, so müssen wir doch einsehen, dass die altquartären Molluskenfaunen (z. B. in Europa) nur sehr wenige wirklich ausgestorbene Arten enthalten. Ferner müssen wir damit uns darüber klar sein, dass man sich über die Scheidung von Pliocän und Quartär in Europa noch gar nicht einig ist — Haug, der die Schichten mit *Mastodon arvernense* noch zum Quartär, de Lapparent der viel jüngeren Ablage-

rungen noch zum Pliocän rechnen will; das Sizilien, das nach französischer Auffassung meist als pliocän, nach deutscher als quartär angesehen wird etc. — Von palaeontologischem Standpunkt aus hat die vor allem in Deutschland gebräuchliche Einteilung, das Quartär über den Schichten mit den letzten Mastodonten beginnen zu lassen, sehr viel für sich. Fast könnte man daran denken, für Java eine ähnliche Einteilung anzunehmen und die Grenze zwischen Pliocän und Pleistocän über den Horizont von Kali Glagah mit *Mastodon bumiajuensis* zu legen. Doch stehen wir noch zu sehr am Anfange unseres Wissens über die jüngsten Molluskenfaunen von Java. Unter diesen Umständen, verlieren wir nichts daran, wenn wir die Djetis-Fauna vorläufig als eine Uebergangsfauuna betrachten, die ihrem Hauptteile nach altpleistocän ist, mit ihrer Basis aber möglicher Weise noch ins Pliocän reicht. Ich bin allerdings geneigt, die Fauna von Djetis eher für rein pleistocän zu halten. Eine Entscheidung kann erst getroffen werden, wenn mehr Tatsachen bekannt und besonders die Verhältnisse anderer Gebiete besser geklärt sind. Eine sehr wichtige Aufgabe für die Zukunft wird sein, die Martin'schen Prozentzahlen für die marinen Mollusken für die verschiedenen Zeitabschnitte mit Hilfe der Säugetierfaunen genauer festzulegen, resp. den Leitformen unter den Mollusken für die entsprechenden Horizonte nachzugehen.

Als Resultat komme ich zu folgender Einteilung:

Indien. (recent)	Java. (recent)	
	Sampoeng-Fauna	Alluvium.
Carnul-Caves	Ngandong-Fauna	Jung-
Narbada-Beds	Trinil-Fauna	Mittel-Pleistocän.
Boulder-congl.	Djetis-Fauna	Alt-
		Jung-
Pinjor-Zone	Kali Glagah-Fauna	Pliocän.
Tatrot-Zone	Tji Djoelang-Fauna	Mittel-

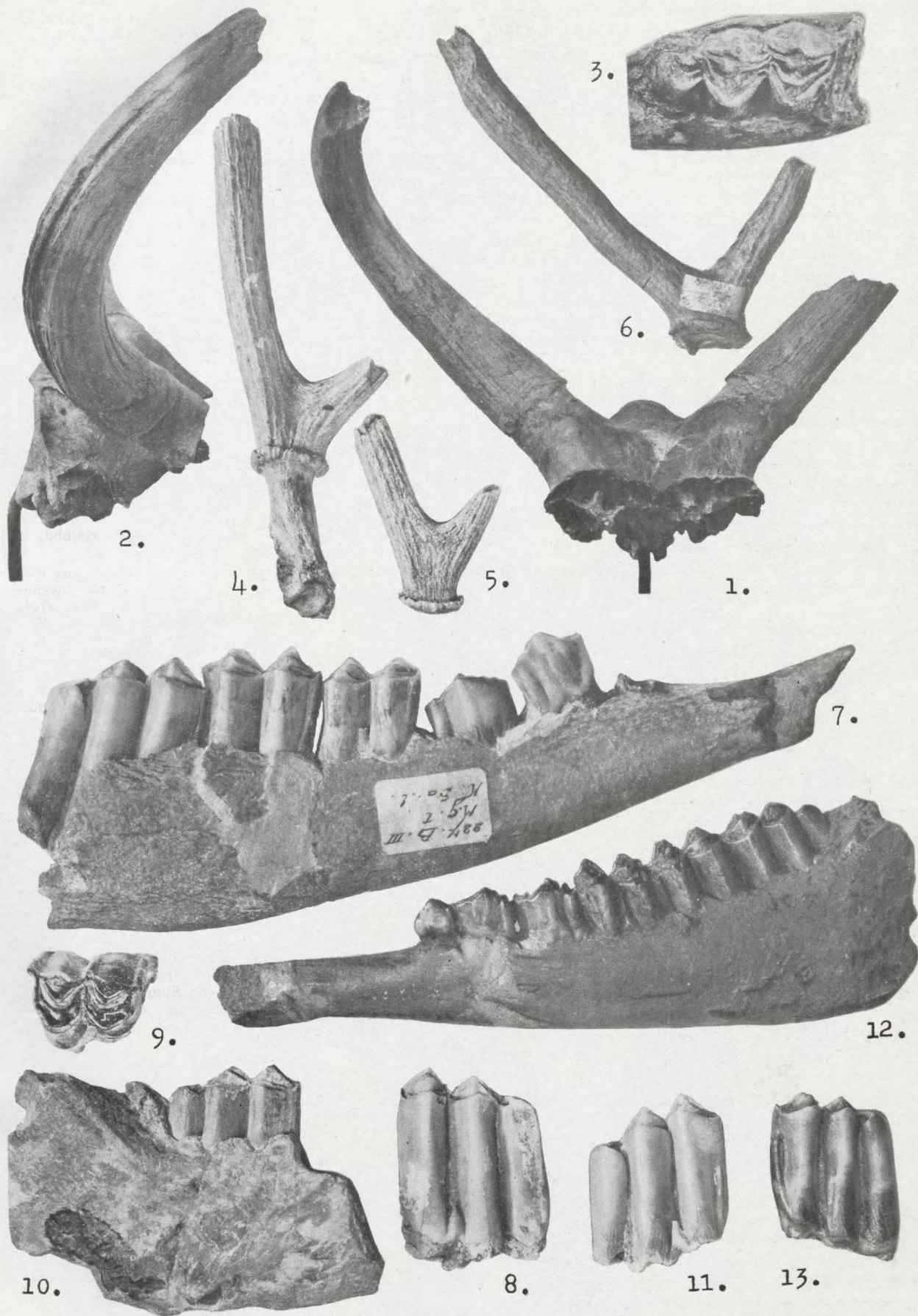
Wir sind am Ende unserer Ausführungen. An der Selbständigkeit der unterschiedenen Faunen und an ihrer Aufeinanderfolge ist nicht zu zweifeln, denn diese Arbeit ist in engster Zusammenarbeit mit den kartierenden Geologen entstanden, unter möglichst eingehender Berücksichtigung der bei der Kartierung auftauchenden Probleme. Dank gebührt vor allem meinen Kollegen Ir. Duyffjes (von dem bald eine stratigraphisch-geologische Arbeit über das Pleistocän zu erwarten ist) und Ir. C. ter Haar, ferner bin ich ganz besonders Herrn Dr. Zwierzycki, dem Leiter der Javakartierung verpflichtet, der meine Arbeit in jeder Weise gefördert hat.

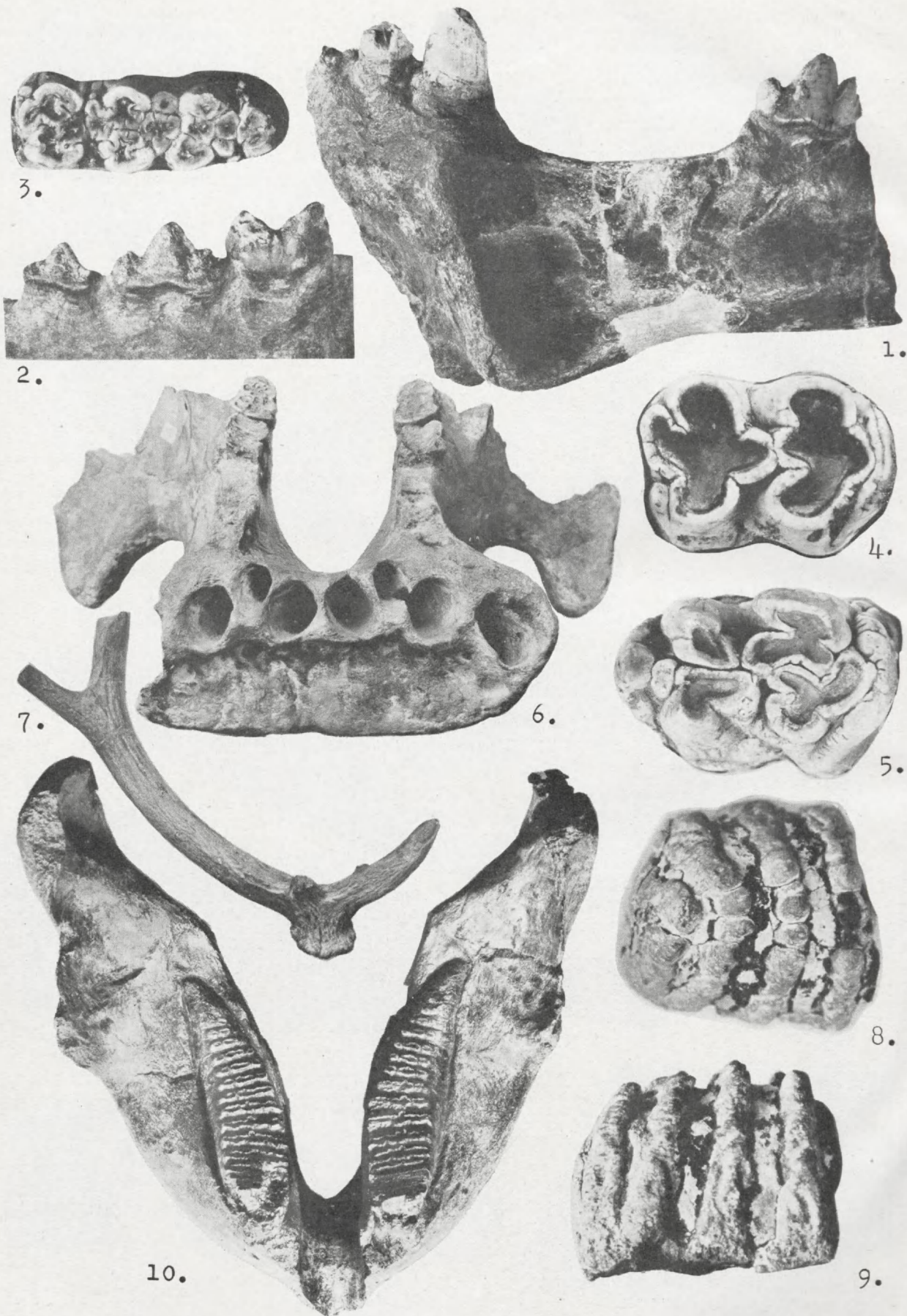
Leider vermag diese Arbeit nicht viel mehr zu geben als einen Ueberblick. Der fühlbare Mangel einer eingehenden Beschreibung der angeführten vielfach neuen Arten ist niemandem deutlicher als dem Verfasser, aber ungünstige Zeitumstände, die eine Fortführung seiner Untersuchungen sehr fraglich erscheinen lassen, zwangen ihn, seine Ausführungen in die vorliegende eigentlich zu beschränk-

te Form zu kleiden und vorläufig abzuschliessen, sollte nicht die Arbeit und Erfahrung von Jahren gänzlich umsonst gewesen sein. Der Verfasser hofft, dass die notgedrungen kurze Darstellung seiner Resultate trotzdem deutlich genug ist, um ein Bild von der Möglichkeit und Wichtigkeit einer Stratigraphie des javanischen Pleistocän zu geben, und dass der Geologe, der sich mit diesen Ablagerungen auseinander zu setzen hat, aus dieser Arbeit seinen Nutzen ziehen möge!

WICHTIGSTE LITERATUR.

- Blankenhorn, M. Allgemeine Betrachtungen über die Wissenschaftl. Ergebnisse der Selenka-Trinil-Expedition. In: die Pithecanthropus-Schichten etc. Leipzig 1911.
- Neues zur Geologie Palästinas und des ägyptischen Niltals. Z. deutsch. Geol. Ges. 1910.
- Branca, W. Vorläufiger Bericht über die Ergebnisse der Trinil-Expedition der akademischen Jubiläums-Stiftung der Stadt Berlin. Sitzber. d. kön. preuss. Akad. d. Wiss., Jhrg. 1908, Halbbd. I, 1908, p. 261-273.
- Cosijn, J. Voorloopige mededeeling omtrent het voorkomen van fossiele beenderen in het heuvelterrein ten Noorden van Djetis en Pening. Verh. geol. mijnbouw. Gen. v. Ned. en Kol., geol. ser. IX, 1931, p. 113-119.
- Tweede mededeeling over het voorkomen van fossiele beenderen in het heuvelland ten Noorden van Djetis en Pening (Java). Ibid. IX, 1932, p. 135-148.
- Dammerman, K. W. Donné provisoire des mammifères dans la grotte de Sampoeng. Serv. Arch. des Indes Néerl. Congr. Préh. d'Extr.-Or. à Hanoi 25-31. I. 1933. Batavia 1932.
- Dietrich, W. O. Zur Altersbestimmung der Pithecanthropus-Schichten Sitzber. d. Ges. Naturf. Fr. Berlin, Jhrg. 1924, 1926, p. 134-139.
- Dubois, E. Voorloopig bericht omtrent het onderzoek naar de pleistocene en tertiaire vertebratenfauna van Sumatra en Java gedurende het jaar 1890. Nat. Tijdschr. v. Ned.-Ind., LI, 1892, p. 93-100.
- Eenige van Nederlandschen kant verkregen uitkomsten met betrekking tot de kennis der Kendeng-Fauna (Fauna van Trinil). Tijdschr. kon. Ned. aandr. Gen., ser. 2, XXIV, 1907, p. 449-458.
- Das geologischen Alter der Kendeng- oder Trinil-Fauna. Ibid., XXV, 1908, p. 1235-1270.
- Es, L. J. C. van The age of Pithecanthropus. 142 pp. Haag 1931.
- Hilber, V. Alter der Pithecanthropus-Schichten. Centr. bl. f. Min. etc. Jhrg. 1921, p. 149-154.
- Kaiser, E. Lehrbuch der Geologie. Stuttgart 1924.





- Koenigswald, G. H. Beitrag zur Kenntnis der fossilen Wirbeltiere Javas I. Teil. Wet. Mededeel. Dienst v. d. Mijnbouw, Nederl.-Indië No. 23, Batavia 1933.
 Soendaplat en Poolverplaatsing. „De Mijnningieur” 1933, pg. 124-130. Bandoeng 1933.
- Kretzoi, N. Materialien zur phylogenetischen Klassifikation der Aeluroiden. X. Congr. Intern. de Zool. Budapest 1929.
- Maarel, F. H. van Contribution to the knowledge of the fossil mammalian fauna of Java. Wet. Medeel. Dienst. v. d. Mijnb. in Ned.-Indië. Nr. 15, 1932.
- Matthew, W. D. Critical observations upon Siwalik Mammals. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist. 54 (1929). pg. 437-560.
- Nash, J. M. W. Eenige voorloopige opmerkingen omtrent de hydro-geologie der Brantasvlakte (met tectonische kaart) zesde N. I. Natuurw. Congres, Bandoeng, Sept. 1931, pg. 683-691.
- Oppenoorth, W. F. Homo (Javanthropus) soloensis, n. subg. n. sp. Wet. Mededeel. Nr. 20, 1932.
- Osborn, H. F. and The elephant enamel method of measuring pleistocene time. Colbert, E. H. Also stages in the succession of fossil man and stone age industries. Proc. Amer. philos. Soc. Philad., LXX, 1931, p. 187-191.
- Pilgrim, G. E. The correlation of the Siwaliks with mammals horizons of Europe. Rec. geol. Surv. India, XLIII, pt. 4, 1913, p. 264-326.
 The fossil Carnivora of India. Pal. Indica. 1932.
- Rutten, L. M. R. Voordrachten over de geologie van Nederlandsch Oost-Indië. Den Haag 1927.
- Soergel, W. Stegodon aus den Kendengschichten auf Java. Palaeontographica, Suppl. IV, Abt. III, Lief. 1, 1914, p. 1-24.
 Die Stammesgeschichte der Elefanten, Centralbl. f. Min. 1915.
- Stehlin, H. G. Fossile Säugetiere aus der Gegend von Limbangan (Java). Wetensch. Mededeel., No. 3, 1925, p. 1-10.
- Stremme, H. Die Säugetierfauna der Pithecanthropus-Schichten. Centralbl. f. Min. etc., 1911, p. 54-60 und 83-89.
 Die Säugetiere mit Ausnahme der Proboscidi in: Die Pithecanthropus-Schichten auf Java, 1911, p. 82-150.
- Zdansky, O. Die Säugetiere der Quartärfauna von Chou-K'ou-Tien. Palaeontologia Sinica, ser. C, V, fasc. 4, 1928, 146 pp.

Unterschriften der Tafeln III und IV.

TAFEL III.

- | | | | |
|--------|--|---------|---|
| Abb. 1 | <i>Leptobos cosijni</i> n. sp. Schädelrest eines männlichen Tieres, von vorne. | Abb. 8 | <i>Antilope cf. saätensis</i> n. sp. Linker unterer letzter Molar von Sangiran I. 1/1 nat. Gr. |
| Abb. 2 | von der Seite gesehen. Djētis. ca. 1/5 nat. Gr. | Abb. 9 | <i>Antilope modjokertensis</i> n. sp. Oberer letzter Molar links von G. Boetak. 1/1 nat. Gr. |
| Abb. 3 | <i>Cervus problematicus</i> v. K. Rechter unterer M., Djētis. 1/1 nat. Gr. | Abb. 10 | <i>Antilope modjokertensis</i> n. sp. Rechter unterer letzter Molar im Kiefer. Djētis. 1/1 nat. Gr. |
| Abb. 4 | <i>Cervus cf. zwaani</i> v. K. Bruchstück einer rechten Geweihstange mit Rosenstock von Baringinan. Grösste Länge 22,6 cm. | Abb. 11 | <i>Antilope modjokertensis</i> n. sp. Rechter unterer Molar von Sangiran I. 1/1 nat. Gr. |
| Abb. 5 | <i>Cervus cf. zwaani</i> v. K. Bruchstück einer linken Stange, Sangiran I. Grösste Länge 9,3 cm. | Abb. 12 | <i>Duboisia kroeseni</i> Dubois. Linker Unterkieferast von Trinil. 1/1 nat. Gr. |
| Abb. 6 | <i>Cervus (Axis) lydekkeri</i> Martin. Bruchstück einer linken Stange von Trinil. Grösste Länge 19,3 cm. | Abb. 13 | <i>Duboisia kroeseni</i> Dubois. Linker unterer letzter Molar von Trinil. 1/1 nat. Gr. |
| Abb. 7 | <i>Antilope saätensis</i> n. sp. Rechter Unterkieferast von aussen. Kalis Saät. 1/1 nat. Gr. | | |

TAFEL IV.

- | | | | |
|--------|---|---------|--|
| Abb. 1 | <i>Epimachairodus zwierzyckii</i> n. sp. Vorderpartie eines linken Unterkieferastes. Sangiran. 1/1 nat. Gr. | Abb. 6 | <i>Hippopotamus namadicus</i> Falc. Unterkiefer von Ngadong von vorne; nicht ganz 1/4 nat. Gr. |
| Abb. 2 | <i>Felis cf. pardus</i> L. Gebiss des linken Unterkiefers von Sangiran II. 1/1 nat. Gr. | Abb. 7 | <i>Cervus (Axis) javanicus</i> v. K. Links Stange von Pitoe in 1/4 nat. Gr. |
| Abb. 3 | <i>Sus terhaari</i> v. K. Linker unterer letzter Molar von Ngadinan. 1/1 nat. Gr. | Abb. 8 | <i>Elephas</i> sp. Hinterende eines rechter unteren Milchzahnes (?) von oben und |
| Abb. 4 | <i>Hippopotamus antiquus</i> n. sp. Zweiter rechter unterer Molar von Sangiran I. 1/1 nat. Gr. | Abb. 9 | von der Seite. Sangiran I. 1/1 nat. Gr. |
| Abb. 5 | <i>Hippopotamus namadicus</i> Falc. Zweiter rechter unterer Molar von Ngadong. 1/1 nat. Gr. | Abb. 10 | <i>Elephas ex aff. namadicus</i> . Unterkiefer von Sangiran II. ca. 1/5 nat. Gr. |

ECONOMISCHE MEDEDEELINGEN.**Productiecijfers van Aardolie in kg/tonnen.**

	1934		1933	
	Sept.	t/m Sept.	Sept.	t/m Sept.
Java en Ma-				
doera	38 424,1	385 131,6	41 010,4	362 030,8
Noord-				
Sumatra ...	85 566,4	760 759,-	62 166,7	552 801,1
Palembang ..	179 843,3	1 655 581,-	161 030,-	1 474 843,5
Djambi	26 172,3	228 089,6	20 749,5	181 786,8
Oost-Borneo	86 959,1	820 467,2	104 695,4	928 519,6
Tarakan	66 399,4	603 618,2	61 486,4	599 833,4
Boenjoe	665,4	7 033,8	1 015,9	9 311,3
Ceram.....	3 225,1	27 354,3	3 051,1	29 409,2
Ned.-Indië...	487 255,1	4 488 034,7	455 205,4	4 138 535,7

Productiecijfers van Steenkolen in kg/tonnen.

	1934		1933	
	Sept.	t/m Sept.	Sept.	t/m Sept.
Gouvernements-				
mijnen	50 474,-	461 400,-	52 261,-	485 633,-
Steenkolen Mij.				
„Parapattan”	18 440,-	167 645,-	22 830,-	183 649,7
Oost-Borneo				
Maatschappij.	6 122,-	71 282,-	7 575,-	69 564,-

Mijnbouw Maatschappij Redjang Lebong.

Gedurende de maand September werden:

8 000 tons erts vermalen van } 5,02 dwts. goud per ton
gemiddeld
1 630 „ sands en } 29,60 „ zilver „ „
6 250 „ slimes behandeld.

Geëxtraheerd werden:

1 830,7 ozs. goud en 10 011 ozs. zilver.
ter gezamenlijke waarde van f 98 456,95.

De bedrijfskosten over September bedroegen f 68 806,67
terwijl voor prospecteeren werd uitgegeven „ 5 683,14

Mijnbouw Maatschappij Simau.

Gedurende de maand September werden:

7 427 tons erts vermalen van } 9,40 dwts. goud per ton
gemiddeld
2 635 „ sands } 144,— „ zilver „ „
4 426 „ slimes en
284 „ concentraten behandeld

Geëxtraheerd werden:

3 306,84 ozs. goud en 46 881,1 ozs. zilver.
ter gezamenlijke waarde van f 195 124,08

De bedrijfskosten over September bedroegen f 110 104,05
terwijl voor montage werd uitgegeven „ 2 019,61
en voor prospecteeren van nieuwe vergun-
ningen „ 2 645,14

IN NEDERLANDSCH-INDIË

VI. WATERBOUWKUNDE.

INHOUD: De nieuwste onderzoekingen van Prof. K. von Terzaghi over gronddruk.

De nieuwste onderzoekingen van Prof. K. von Terzaghi over gronddruk.

Invloed van de uitwijking van een muur op den grondruk. De zijdelingsche druk door ondergedompeld zand is gelijk aan den waterdruk, vermeerderd met den zijdelingschen druk van de vaste stof. Evenals bij ondergedompeld zand, ondervindt een keermuur bij een achtervulling van fijnkorrelig materiaal, als klei, den vollen waterdruk, vermeerderd met den door de vaste stof uitgeoefenden druk. Analyse van de capillaire krachten, welke de uitkomsten van de proeven met gedraineerd fijn materiaal beïnvloeden. Uitkomsten van de proeven met grond van den Fifteen Mile Falls-dam bevestigen de resultaten van het onderzoek van zand en fijnkorrelig materiaal.

In het tijdschrift *Engineering News Record* van 1 en 22 Februari, 8 en 29 Maart en 19 April 1934 verscheen een serie van 5 artikelen van de hand van prof. Karl von Terzaghi over op uitgebreide schaal genomen grondrukproeven, waaraan het volgende is ontleend.

I. GRONDDRUK VAN DROOG ZAND.

Teneinde voor het ontwerp van een 170 ft. hoo-gen keermuur, een onderdeel vormende van de Fifteen Mile Falls-dam van de New England Power Association in de Connecticut-rivier, de noodige gegevens te verzamelen, werd aan het Massachusetts Institute of Technology een toestel gebouwd, waarvan een beschrijving voorkomt in *E. N. R.* van 29 September 1932. Dit toestel bestaat uit een bak van 14×14 ft. grondvlak en 7 ft. diepte, welke aan de voorzijde gesloten wordt door een bewegelijken keermuur lang 14 ft. en hoog 7 ft., dusdanig aangebracht, dat het mogelijk is de drukken tegen den muur te meten; de muur kan zoowel binnen- als buitenwaarts verschoven worden en bovendien om zijn voet kantelen.

Het doel van het toestel was een onderzoek naar den zijdelingschen druk van klei in verschillende stadia van verzadiging; bovendien werden proeven gedaan met los (niet-samenhangend) zand. Hieronder worden allereerst de uitkomsten van de eenvoudigste dier proeven, n.l. die met droog zand, beschreven. Het doel van deze proeven was om te bepalen, welken invloed een uitwijking van den muur heeft op richting en grootte van den zanddruk.

Materiaal en wijze van onderzoek.

De proeven werden gedaan met Plum Islandzand, een middelmatig scherp kwarts- en veldspaat-zand met sporen mica, effective size ¹⁾ 0,54 mm, uniformiteitscoëfficiënt 1,70.

1) De „effective size” is een maat voor de korrel-grootte, zoodanig bepaald dat 10% kleiner is. Noot v. d. Vertaler.

In meest gecompriëerden vorm bedroeg het poriën-volume 38% en in lossen toestand 46%. Vóór het gebruik werd het materiaal kunstmatig gedroogd; het vullen van de bak geschiedde zeer zorgvuldig, zoodat het materiaal bij de proeven praktisch droog was.

De stijfheid van den keermuur en de constructie van de meetinrichtingen maakten het mogelijk zoowel de grootte als de richting van den resulterenden grondruk te bepalen voor iederen stand van den muur tot op een afstand van meer dan 1 cm binnen- of buitenwaarts van den oorspronkelijken stand.

Het programma der proeven met droog zand omvatte de volgende series (zie fig. 1):

Proef 1. Gecomprimeerd zand, muur kantelend om zijn voet (horizontale as).

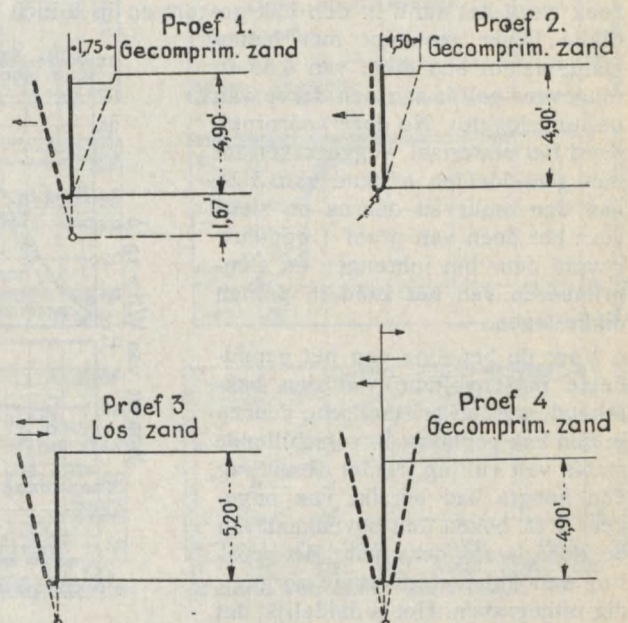


Fig. 1. Zandaanvulling en muurbeweging bij de proeven voor de bepaling van den druk van droog zand (4 gevallen).

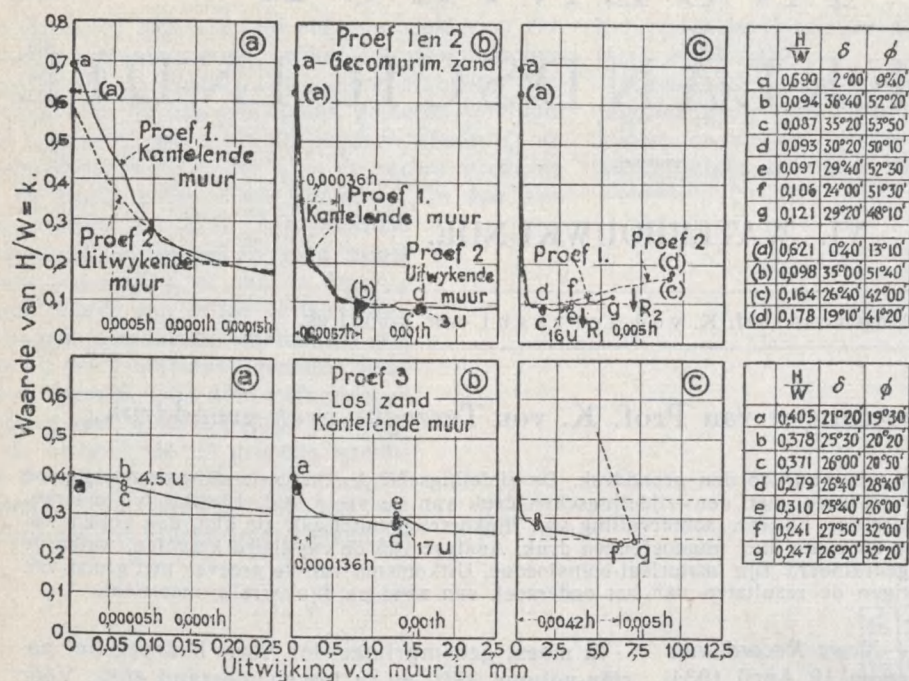


fig. 2. Hydrostatische druk van droog zand t.o.v. muuruitwijking en zandsamendrukking.

- Proef 2. Gecomprimeerd zand, muur uitwijkend parallel aan oorspronkelijken stand.
 Proef 3. Los zand, muur buitenwaarts kantelend om zijn voet (horizontale as) en daarna weer in oorspronkelijken stand teruggebracht.
 Proef 4. Gecomprimeerd zand, muur kantelend om zijn voet (horizontale as), eerst binnendans buitenwaarts en tenslotte terug in oorspronkelijken stand.

Vóór het aanzetten van proef 1 werd eerst een vóórproef gedaan om de onderzoekers vertrouwd te maken met de proefinstallatie. Voor dit vóóronderzoek werd het zand in den bak gestort en in 6 inch dikke lagen gestampt met betonstampers tot een dikte van 4,85 ft. (ongeveer gelijk aan een derde van de muurlengte). Na deze vóórproef, werd het materiaal weggegraven tot een gemiddelden afstand van 3 ft. van den muur en daarna de sleuf voor het doen van proef 1 opnieuw gevuld door het inbrengen en comprimeeren van het zand in 6 inch dikke lagen.

Voor de bepaling van het gemiddelde poriënvolume van den bakinhoud, werden prismatische doozen in den bak geplaatst in verschillende stadia van vulling. Nadat de vulling een hoogte had bereikt van ongeveer 1 ft. boven den bovenkant van de doos, werd deze voor de bepaling van het poriënvolume zorgvuldig uitgegraven. Het is duidelijk, dat op deze wijze slechts benaderende waarden voor den gemiddelden

ling zou worden uitgeoefend.

Van iedere serie proeven worden naast elkaar drie diagrammen gegeven. Het derde diagram (c) geeft de uitkomst van de geheele proef weer, waarbij de abscissen op kleine schaal zijn geteekend, terwijl de diagrammen (a) en (b) de uitkomsten in de eerste stadia van de proeven toonen op schalen vijftig en vijf maal zoo groot. De stand van den muur, waarbij de eerste uitwijking optrad, is met pijltjes en de letter R in de diagrammen (c) aangegeven.

Blijkens de diagrammen van fig. 2 is er bijna geen verschil tusschen de k -krommen voor een muur, welke kantelt (proef 1), en een parallel aan zijn oorspronkelijken stand uitwijkenden muur (proef 2),

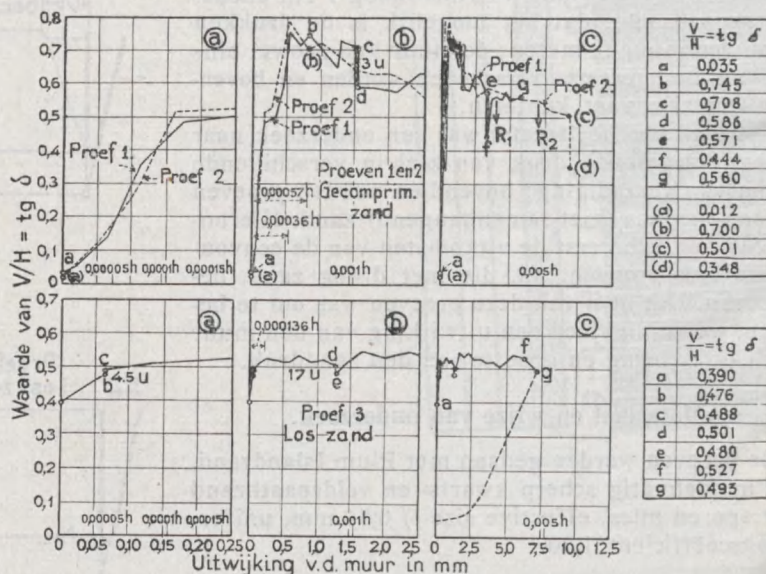


Fig. 3. Muurwrijving van droog zand t.v.o. van muuruitwijking en zandsamendrukking.

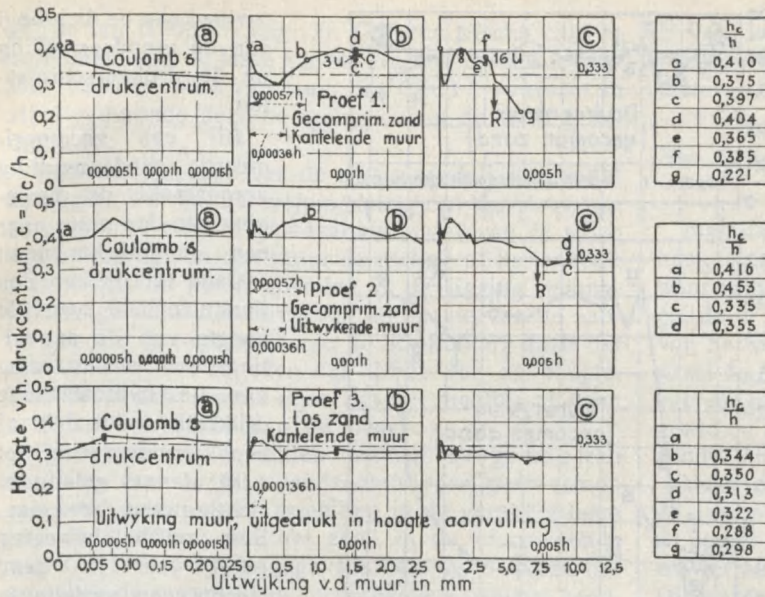


Fig. 4. Hoogte van het drukcentrum van droog zand t.v.o. muuruitwijking en zandsamendrukking.

vooropgesteld, dat in beide gevallen de grondvulling achter den muur bestaat uit gecompriëerd zand. Aan den anderen kant bestaat er geen overeenkomst tusschen de k -krommen voor een kantelende muur met onderscheidenlijk een achteraanvulling van gecompriëerd zand (proef 1) en van los zand (proef 3).

Bij iedere proef veroorzaakte een onderbreking van eenige uren een opmerkelijke toename van de grootte van den gronddruk, ondanks het feit, dat de stand van den muur geen wijziging onderging (verticale gedeelten van de k -krommen). Bij proef 3 werd de muur, nadat hij eerst buitenwaarts over een gemiddelden afstand van 7 mm (0,0045 h) was uitgeweken, teruggebracht in zijn oorspronkelijken stand, hetgeen een toename van k tengevolge had van 0,25 tot 1,10 (niet geheel aangegeven in de figuur).

Fig. 3 geeft op overeenkomstige wijze den coëfficiënt voor de wrijving van den grond op het muurvlak, $\tan \delta$ ten opzichte van de muuruitwijking. De waarde van dezen coëfficiënt werd gevonden door de gemeten verticale componenten van den gronddruk, V , te deelen door de gemeten horizontale componenten H . Een onderbreking van eenige uren veroorzaakte bijna steeds eene afname van dezen wrijvingscoëfficiënt, in het diagram aangegeven door een vette verticale lijn.

Op dezelfde wijze laat fig. 4 de betrekking zien tusschen de hoogte van het drukcentrum (aangrijpingspunt van de resultante van den gronddruk) en de muuruitwijking. Volgens Coulomb's theorie moet het aangrijpingspunt van den gronddruk voor een horizontale begrenzing van de grondaanvulling liggen op één derde boven het grondvlak. Er blijkt in dit opzicht bij een achteraanvul-

ling met gecompriëerd zand een opmerkelijk verschil te bestaan al naar gelang de muur kantelt (proef 1) of zijdelings uitwijkt, parallel aan den oorspronkelijken stand (proef 2). Doch in geen der beide gevallen lag, behalve in een vergevorderd stadium van de proefneming, het aangrijpingspunt van den grondruk lager dan een derde van de hoogte, terwijl het drukcentrum voor los zand vrij dicht daaronder bleek te liggen.

In fig. 5 geven de linker diagrammen (a) de betrekking aan tusschen de zakking van het zand en de uitwijking van den muur. De abscis van het punt R geeft den gemiddelden afstand aan, waarover de muur uitgeweken is op het moment, dat de eerste afschuiving in de zandaanvulling optrad. De boven het punt R gelegen krommen schijnen een horizontale, die beneden R een verticale asymptoot te hebben. Bij de

proef met los zand (proef 3) kwam geen afschuiving voor. Het schijnt dat voor het optreden van afschuiving in de losse zandaanvulling een grootere uitwijking van den muur vereischt is dan met het toestel bereikt kon worden.

De rechterdiagrammen (b) van fig. 5 geven dwarsdoorsneden over het bovenvlak van de zandaanvulling voor verschillende waarden van de muuruitwijking. De aandacht wordt gevestigd op het duidelijk verschil, dat bestaat tusschen het geval van een kantelende (proef 1) en dat van een uitwijkende muur (proef 2), waarbij de achteraanvulling in beide gevallen uit gecompriëerd zand bestaat.

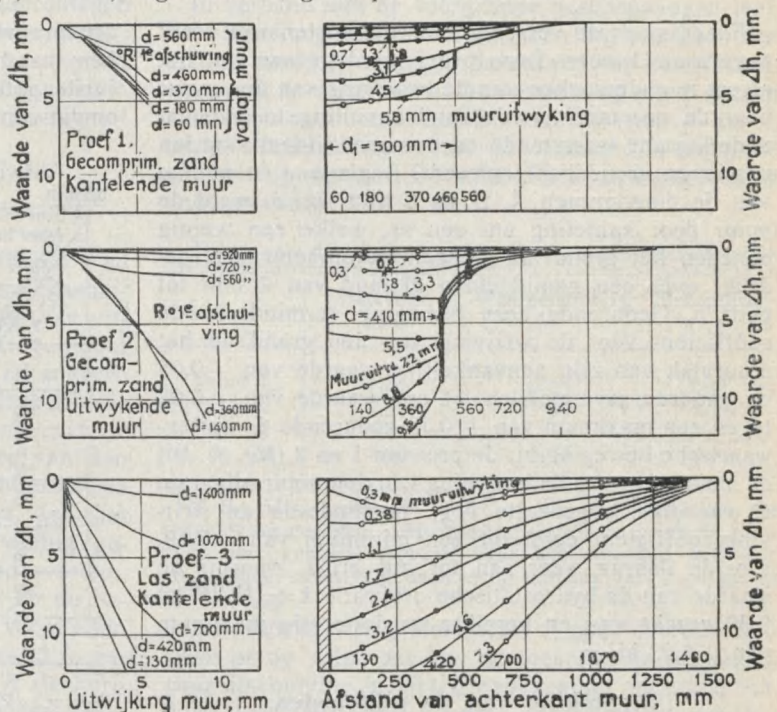


Fig. 5. Zakking bij proeven met droog zand t.v.o. muuruitwijking en zandsamendrukking.

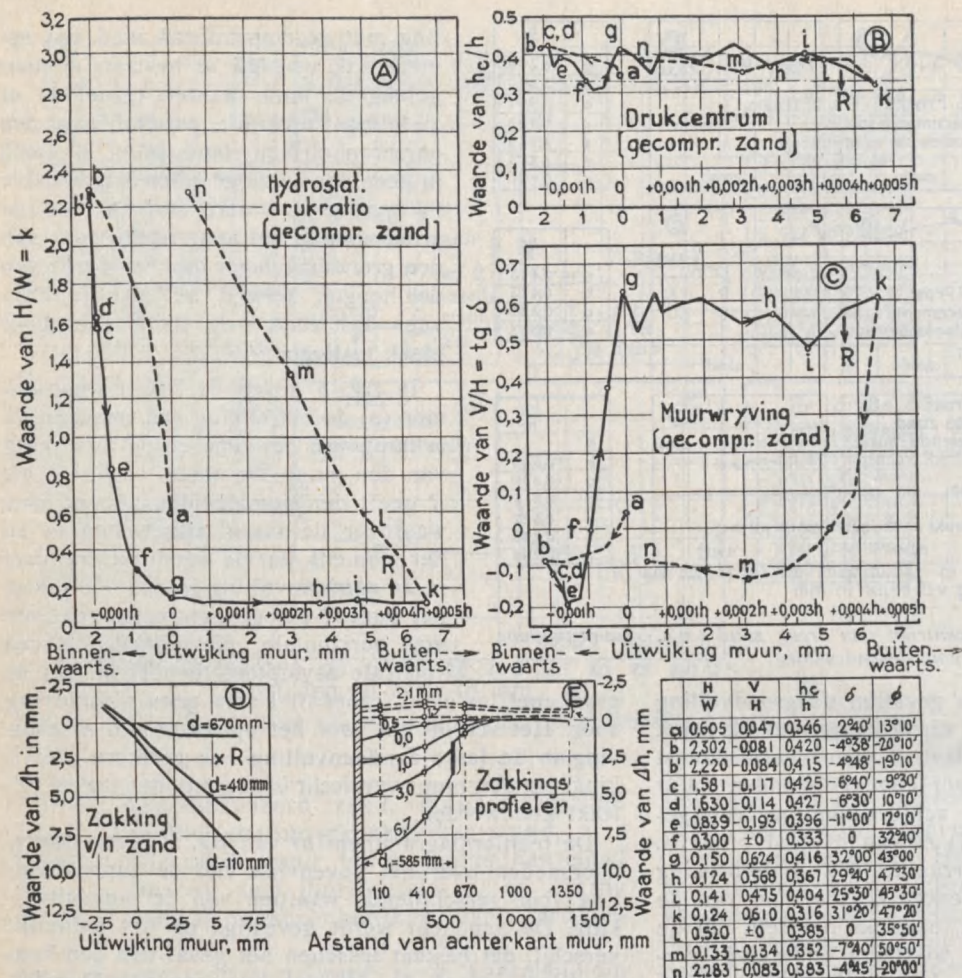


Fig. 6. Uitkomsten bij beweging van den muur naar de achteraanvulling toe en daarna in omgekeerde richting; gecompriëerd zand.

Fig. 6 geeft de verschillende uitkomsten van proef 4 verzameld weer. Deze proef werd gedaan om het effect te onderzoeken van de beweging van den muur naar de gecompriëerde zandaanvulling toe, zoodat zijdelingsche weerstand van den grond (deel van den passieven gronddruk) optreedt. Beginnend in punt a van de diagrammen A, B en C van fig. 6, werd de muur door kanteling om een as, welke een weinig beneden het grondvlak gelegen is, binnenwaarts gedrukt over een gemiddelden afstand van 2 mm tot punt b. Gedurende deze beweging verminderde de coëfficiënt voor de wrijving van den grond op het muurvlak van zijn aanvankelijke waarde van +0,05 en naderde asymptotisch tot een waarde van -0,08 tegen een maximum van +0,78 gedurende de buitenwaartsche beweging bij de proeven 1 en 2 (fig. 3). Bij de omkeering van de beweging van den muur (diagram C van fig. 6, gedeelte beg) verminderde de wrijvingscoëfficiënt eerst tot een minimum van -0,19, groeide daarna weer aan tot nul bij f, waarbij de waarde van de hydrostatische drukratio $k = H/W$ tot 0,30 gezakt was, en bereikte tenslotte zijn maximum van +0,63 bij g.

Bespreking van de uitkomsten.

Het meest opvallende feit, dat door deze onderzoeken in het licht werd gesteld, is de belangrijke

invloed van de dichtheid van de grondaanvulling op de drukverschijnenselen.

Bij een gecompriëerde zandaanvulling veroorzaakt de beweging van den muur over een onbeteekenenden afstand (gelijk aan een tienduizendste van de hoogte van de aanvulling) een vermindering van de hydrostatische drukratio k tot 0,20 of een vermeerdering tot 1,00, al naar gelang de richting van beweging. Een zelfde beweging geeft voor los zand slechts een variatie in de waarde van k tusschen de grenzen 0,3 en 0,5 (zie fig. 7). Voor het gecompriëerde zand hangt de waarde van k , welke bij den oorspronkelijken stand van den muur behoort, ongetwijfeld in belangrijke mate af van de wijze, waarop de samendrukking plaats vond. Blijkens de uitkomsten van onderzoeken, welke onafhankelijk van deze grond-

drukproeven gedaan werden, kan k elke waarde hebben tusschen 0,35 en 0,70, maar de kennis van het juiste getal is zonder eenige praktische beteekenis, omdat een onbeteekenende buitenwaartsche beweging van den muur een reductie tot 0,20 tengevolge heeft, onafhankelijk van de oorspronkelijke waarde. Voor een losse aanvulling is de aanvangswaarde van k bij benadering 0,40.

In de gecompriëerde zandaanvulling trad afschuiving op, nadat de muur over een gemiddelden afstand van resp. 0,0027 h was gekanteld of van 0,005 h was uitgeweken. Daarentegen was de uitwijking, waarbij de zijdelingsche druk tot een minimum gereduceerd werd, onafhankelijk van de wijze van beweging, en ongeveer

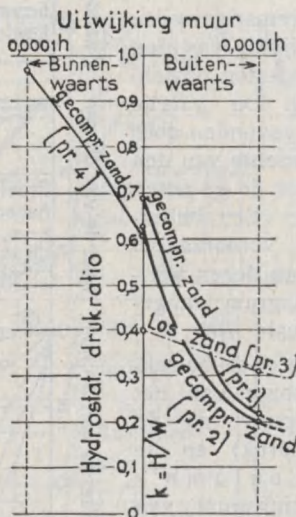


Fig. 7. Verandering van de hydrostatische ratio met de muuruitwijking, gecompriëerd en los materiaal.

gelijk aan $0,0007 h$ (fig. 2). Om een afschuiving te veroorzaken in de losse aanvulling, schijnt een uitwijking van den muur van meer dan $0,008 h$ vereischt te zijn; gedurende deze beweging neemt de druk geleidelijk af.

Vóór het optreden van de eerste afschuiving, hangt de ligging van het aangrijppingspunt van den druk van een gecompriëerde grondaanvulling af van de wijze van beweging van den muur (kanteling of horizontale uitwijking). In beide gevallen is de ligging belangrijk hooger dan een derde van de hoogte van de aanvulling. Bij het optreden van de afschuiving daalt het drukcentrum tot beneden één derde van de hoogte. Voor losse zandaanvullingen ligt het dichtbij of even beneden één derde van de hoogte.

De besproken verschillen tusschen het gedrag van verdichte en van losse zandaanvullingen gaan samen met overeenkomstige verschillen in de veranderingen van de structuur van het zand in de afschuivende wig. Gebaseerd op de gegevens van fig. 5, bleek het mogelijk de verandering te berekenen van het zandvolume van de wig voor een uitwijking van den muur van 5 mm. De uitkomst in % van het oorspronkelijk volume is: *proef 1*, gecompriëerde zandaanvulling, kantelende muur, 1,2% uitzetting; *proef 2*, gecompriëerde zandaanvulling, evenwijdig verplaatste muur, 1,2% uitzetting; *proef 3*, losse zandaanvulling, kantelende muur, 0,45% inklinking.

Een tweede groep belangwekkende feiten heeft betrekking op de veranderingen van de muurwrijving, welke samengaan met de verplaatsing van den muur en met eene onderbreking op het keerpunt der beweging. Voor een gecompriëerde zandaanvulling is de aanvangswaarde van de muurwrijving bijna nul; een lichte buitenwaartsche beweging van den muur is voldoende om den wrijvingscoëfficiënt tot een maximum te doen aangroeien, verdere uitwijking daarentegen veroorzaakt weder een vermindering van de wrijving; deze nadert dan de waarde, welke voor los zand geldt. Voor een losse zandaanvulling vermeerderd een lichte buitenwaartsche muuruitwijking de muurwrijving tot een bijna constante waarde.

Inwendige wrijving van zand.

Tenslotte dienden de gegevens van de figuren 2 en 6 nog voor een indirecte bepaling van den inwendigen wrijvingshoek in de verschillende stadia van uitwijking van den muur. Vroegere onderzoekingen door Müller-Breslau, Jacob Field en anderen hebben afdoende aangetoond, dat de gronddruktheorie van Coulomb bevredigend overeenstemt met de werkelijkheid, voor wat betreft de grootte van den zijdelingschen druk. In verband met het benaderend karakter van de betreffende berekeningen, kan het feit, dat het afschuivingsoppervlak een weinig gebogen is inplaats van vlak, verwaarloosd worden, zoodat de berekeningen gebaseerd werden op de bekende formule van Coulomb. Laat h voorstellen de diepte van de zandaanvulling, s het soortelijk gewicht, ϕ den inwendigen wrijvingshoek, H de horizontale en V de verticale componenten van den druk, en $\tan \delta (= V/H)$ den tangens van den wrijvingshoek tusschen grond en muur. De horizontale componenten

H van den zijdelingschen druk tegen den achterkant van een verticalen muur is dan volgens Coulomb's theorie:

$$H = \frac{1}{2} \cdot s \cdot h^2 \cdot \left\{ \frac{\cos \phi}{1 + \sqrt{\sin \phi \cdot (\sin \phi \cdot \cos \phi \cdot \tan \delta)}} \right\}^2$$

Met uitzondering van den inwendigen wrijvingshoek ϕ , zijn alle termen in de formule bekend uit waarnemingen bij de proeven. Het was daardoor mogelijk ϕ te berekenen voor de verschillende stadia van het onderzoek. De uitkomsten zijn in de tabellen naast de figuren 2 en 6 weergegeven, tezamen met de overeenkomstige waarden van den wrijvingshoek van grond op muurvlak, δ . Uit deze tabellen blijkt het volgende.

Voor een gecompriëerde zandaanvulling bereikt de inwendige wrijvingshoek vóór het optreden van de eerste afschuiving een tijdelijk maximum van 54° en vermindert daarna weder bij verdere uitwijking. Dit wordt veroorzaakt door een progressieve verbrekking van de structuur van het zand, welke met de vorengenoemde uitzetting samengaat. Een zelfde verstoring effect werd merkbaar bij proef 4 veroorzaakt door de proef te beginnen met een beweging van den muur naar de aanvulling toe. Daardoor vertoonen die gedeelten van de diagrammen van fig. 6, welke correspondeeren met de buitenwaartsche uitwijking van den muur, een tusschenvorm tusschen de diagrammen voor dicht en voor los zand, en gaat de inwendige wrijvingshoek een waarde van 47° niet te boven. Voor een losse zandaanvulling groeide de hoek gestadig aan, als gevolg van een progressieve stabilisatie van het zand in de afschuivende wig, en trachtte deze den natuurlijken wrijvingshoek (34°) te benaderen.

In verband met de voorgaande beschouwingen leek het van belang den theoretischen en den waargenomen afstand tusschen muur en bovenrand van het afschuivingsvlak te vergelijken. De berekening werd gedaan volgens Coulomb met de waarden van ϕ en δ , welke overeenkwamen met den toestand, waarbij de afschuiving optrad. De uitkomsten zijn gegeven in onderstaanden tabel:

Dikte van de afschuivende wig aan den bovenkant.

	Berekend ft.	Waargenomen ft.	Verhouding 3 : 2
Proef 1	1,80	1,75	0,98
„ 2	2,30	1,50	0,65
„ 3	3,40	—	—
„ 4	2,04	1,92	0,94

N.B. Het berekende cijfer voor proef 3 is alleen ter vergelijking gegeven, niettegenstaande bij de proef de muur niet ver genoeg uitweek voor het optreden van een afschuiving. Het is gebaseerd op aanname van $\phi = 34^\circ$ en $\tan \delta = 0,50$.

De proeven 1 en 4 stemmen vrij goed overeen, hetgeen er op wijst, dat aan de theoretische aannamen voor afschuiving in niet-samenhangend materiaal voldaan werd. Bij proef 2 sneed het schuifvlak den bovenkant van de aanvulling op een aanzienlijk korteren afstand dan de theorie van Coulomb deed

verwachten. Dit verschil behoeft niet te verwonderen, daar de muur evenwijdig aan zijn oorspronkelijken stand uitweek. Bij deze wijze van beweging van den muur wordt de verhouding tusschen de uitwijking daarvan en de corresponderende dikte van de afschuivende wig van boven naar beneden grooter. De overmatige uitzetting en zakking in het benedenste gedeelte van de wig veroorzaakt buiging in het boven-deel, waardoor de afschuiving onder abnormale omstandigheden optreedt. Deze verklaring vindt bevestiging door de abnormale verplaatsing van het drukcentrum bij proef 2 (zie fig. 4).

Bij alle proeven was duidelijk waar te nemen, dat een onderbreking op het keerpunt der beweging, bijna steeds een vermindering tengevolge had van den wrijvingscoëfficiënt tusschen grond en muur, en verder een vergrooing van de hydrostatische drukverhouding k , en in het algemeen ook een geringe verhooging van het drukcentrum veroorzaakte. Deze feiten werden ook reeds waargenomen door Jacob Field bij zijn onderzoekingen over gronddruk. Zij treden bij elke vervorming van een zandlichaam op. Als voorbeeld kunnen de uitkomsten van een vroegere proefneming van schrijver dezes genoemd worden, waarbij een laag zand in een cylinder met een gelijkmatig verdeelden druk p werd samengedrukt. Na verhooging van den druk tot een waarde p_1 , werd de daarbij behorende samendrukking gedurende zekeren tijd constant gehouden; tijdens deze onderbreking verminderde de druk, welke vereischt was om de samendrukking constant te houden aanvankelijk snel, daarna langzaam om tenslotte een constante waarde p_2 te bereiken.

Uit deze waarnemingen concludeert schrijver, dat de kracht, noodig om een bepaalde verandering van het zand tot stand te brengen steeds grooter is dan die, welke vereischt wordt om de verkregen vormverandering te handhaven. Indien dus een bepaalde vormverandering van een zandmassa is verkregen, vermindert de druk gedurende de eerste uren en bereikt geleidelijk zijn eindwaarde. Gedurende deze eerste uren, schijnt een lichte afschuiving en een herrangschikking van de zandkorrels plaats te hebben, zoodat de kracht noodig om hen op hun plaats te houden kleiner wordt. Uit de uitkomsten van de proeven, in fig. 2 en 3 weergegeven, blijkt deze eigenschap eveneens. De verhouding $k = H/W$ hangt af van de grootte van de wrijvingskrachten, welke in de wig werken; hoe grooter deze zijn, hoe kleiner k is. Gedurende een onderbreking verandert de vormverandering van de zandaanvulling niet. Daardoor worden de wrijvingskrachten in het zand en langs den muur kleiner, waardoor de verhouding k toeneemt. De geleidelijke herrangschikking der korrels veroorzaakt een lichte zakking van het zand in de wigvormige zone. Zakking van een zandmassa, besloten tusschen een ruwen muur en het in rust blijvend gedeelte van de zandaanvulling heeft een begin van buiging tengevolge, waardoor weer een lichte bovenwaartsche beweging van het drukcentrum wordt veroorzaakt.

Conclusies voor droog zand.

De hier beschreven proeven leveren voor het eerst een aantal gegevens betreffende den invloed van een

muuruitwijking op den gronddruk over het geheele gebied tusschen den origineelen stand en de uitwijking, waarbij afschuiving optreedt.

De volgende gevolgtrekkingen kunnen daaruit worden gemaakt.

1. Er bestaat een opvallend verschil tusschen het gedrag van een vaste en een losse aanvulling.

2. Bij een gecompriëerde zandaanvulling kan de hydrostatische drukverhouding k , welke met den druk op den muur in den oorspronkelijken stand overeenkomt, iedere waarde hebben tusschen 0,35 en 0,70, al naargelang de wijze, waarop de zandaanvulling gemaakt werd. Binnenwaartsche beweging van den muur over een afstand van ongeveer $0,001 h$ doet de waarde van k toenemen tot 2 à 2,5, terwijl voor een zelfde buitenwaartsche beweging k afneemt tot zijn kleinste waarde (ca. 0,1). Verdere buitenwaartsche uitwijking heeft weer een vermeerdering van den zijdelingschen druk tot gevolg.

3. De hoek van inwendige wrijving bereikt voor een gecompriëerde zandaanvulling een zeer bepaald maximum, nadat de muur over een gemiddelden afstand van $0,0007 h$ is uitgeweken. Bij verdere uitwijking neemt de inwendige wrijvingshoek opnieuw toe en nadert de maximum waarde voor los zand.

4. De coëfficiënt voor de wrijving tusschen zand en muur varieert sterk bij een gecompriëerde zandaanvulling. Bij binnenwaartsche beweging van den muur is de muurwrijving te verwaarlozen. Bij de omgekeerde beweging bereikt deze wrijving eerst een maximum, waarna zij geleidelijk vermindert tot een waarde, welke overeenkomt met den coëfficiënt voor de wrijving tusschen muur en los zand.

5. Bij een losse zandaanvulling is de hydrostatische drukverhouding, vóór de beweging van den muur, ongeveer 0,4. Binnenwaartsche beweging (naar de aanvulling toe) over een afstand van $0,001 h$ doet k toenemen tot iets minder dan 1. Van den anderen kant vermindert bij buitenwaartsche beweging de zijdelingsche druk, totdat bij een uitwijking van meer dan $0,008 h$ afschuiving optreedt. Op dit punt nadert k tot de waarde van Coulomb voor den natuurlijke wrijvingshoek. Over de geheele bewegingsstrekking blijft de coëfficiënt voor de wrijving op den muur praktisch constant.

6. Zoowel voor een gecompriëerde als voor een losse zandaanvulling veroorzaakt een onderbreking van de buitenwaartsche beweging van den muur een lichte afname van de wrijving op den muur, een toename van k , en in de meeste gevallen een lichte bovenwaartsche verplaatsing van het aangrijpingspunt van den gronddruk.

Ofschoon de proeven onder de eenvoudigste condities gedaan werden (droog zand, geen verticale beweging van den muur, enz.) bleken de verschijnselen betreffende den gronddruk gecompliceerder dan algemeen wordt aangenomen.

II. GRONDDRUK DOOR MET WATER VERZADIGD ZAND.

Dezelfde onderzoekingen als hiervoor beschreven voor droog onsamenvangend materiaal werden gedaan met zand, dat geheel met water verzadigd was; het

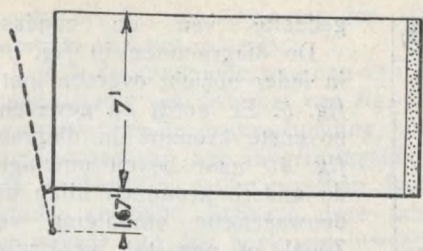


Fig. 8. Grindzandfilter voor toelating van het water.

toestel en het materiaal waren voor beide onderzoeken identiek.

Alvorens den bak (14×14 ft.) te vullen, werd aan de achterzijde een grindzandfilter aangebracht (zie fig. 8). Het zand werd in horizontale lagen van 6 inch dikte gestort en gestampt met betonstampers. Nadat men den muur over een gemiddelden afstand van 1,4 mm had laten kantelen (zie fig. 8) werd de beweging gedurende 18 uur onderbroken. Daarna werd door het filter langzaam water toegelaten, dat geleidelijk in het zand opsteeg en tenslotte aan de oppervlakte aan den dag trad. Een en twintig uur later, werd het zand gedraineerd en werd een verdere uitwijking van den muur toegelaten tot een gemiddelden afstand van 4,2 mm. Na een onderbreking van 23 uur werd het zand opnieuw met water verzadigd zonder den muur te doen bewegen. Zeven en veertig uur later werd de muur buitenwaarts bewogen tot een totalen gemiddelden afstand van 6,7 mm, gerekend vanaf de oorspronkelijke positie. In dezen stand bleef de muur gedurende 23 uur, terwijl het zand volledig verzadigd was en nog 5 uur gedurende de draineering van het zand. De onderbrekingen waren zeker lang genoeg om de factoren, welke den zijdelingschen druk beïnvloeden, praktisch constante waarden te doen bereiken.

Bij het draineeren van zand vloeit bijna al het in de poriën aanwezige water weg; slechts dunne filmpjes hechten zich vast aan de oppervlakte van de korrels. Het watergehalte van het gedraineerde zand bedroeg ongeveer 2,5% van het droog gewicht, tegen 25% in verzadigten toestand.

Gelijktijdig optreden van zand- en waterdruk.

De term „ondergedompeld” heeft betrekking op den toestand, waarbij het horizontaal oppervlak van de zandaanvulling overeenkomt met het vrije wateroppervlak, d.i. als het water in een aangebrachte standpijp stijgt tot aan de oppervlakte. In dat geval ondervindt iedere zandkorrel den vollen opwaartschen druk, waardoor het werkelijk gewicht aanzienlijk gereduceerd wordt.

Laat s_0 voorstellen het s.g. van water;

s het gemiddelde s.g. van de zandkorrels;

n het volume van de holle ruimte van het zand, uitgedrukt als een fractie van het totaal volume;

s_1 het soortelijk gewicht van droog zand;

s_2 het soortelijk gewicht van het zand, gereduceerd door den opwaartschen druk.

De waarden s_1 en s_2 worden uit de bekende formules bepaald:

$$s_1 = s(1 - n) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{en } s_2 = (s - s_0) \cdot (1 - n) \dots\dots\dots (2)$$

Op een willekeurige diepte y beneden het oppervlak van een droge zandaanvulling, is de druk op de zandkorrels per eenheid van horizontale doorsnede $y \cdot s_1$, terwijl bij onderdompeling in water deze druk $y \cdot s_2$ bedraagt, welke waarde veel kleiner is. Anderzijds wordt op de achterzijde van den keermuur bij een droge zandaanvulling slechts een zijdelingsche druk uitgeoefend door de zandkorrels, terwijl bij onderdompeling in water daar nog de volle waterdruk bijkomt. De aanwezigheid van het zand heeft geenerlei invloed op den waterdruk. Voor zand werd deze algeheele onafhankelijkheid afdoend aangetoond door proeven, gedaan door H. de B. Parsons²⁾ en anderen. Bij het in teekening brengen van de uitkomsten der proeven met ondergedompeld zand werden daarom water- en zanddruk gescheiden.

Indien de diepte en breedte van de zandaanvulling onderscheidenlijk h en b zijn, is de waterdruk tegen den muur $W_0 = \frac{1}{2} \cdot s_0 \cdot h^2 \cdot b$. Door van den totalen horizontalen druk H_s dit bedrag af te trekken, vindt men de door het zand uitgeoefende horizontale drukcomponente $H_2 = H_s - W_0$. Is tenslotte W_2 de horizontale druk, die door een vloeistof met een soortelijk gewicht s_2 (zie vgl. 2) zou worden uitgeoefend, dan is de drukcoëfficiënt van het zandgedeelte bij verzadiging:

$$k_s = \frac{H_2}{W_2} = \frac{H_s - \frac{1}{2} \cdot s_0 \cdot h^2 \cdot b}{\frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot b \cdot (s - s_0) \cdot (1 - n)} \dots\dots (3)$$

De gedraineerde zandaanvulling heeft daarentegen een drukcoëfficiënt van:

$$k_d = \frac{H_d}{\frac{1}{2} \cdot s'_1 \cdot h^2 \cdot b} \dots\dots\dots (4)$$

waarin H_d de horizontale componente van den druk voorstelt en s'_1 het s.g. van het door de voorafgaande verzadiging nog vochtige zand. In ons geval, waarbij slechts weinig water in het zand achterbleef, bedroeg gemiddeld $s'_1 = 1,025 s_1$.

Op overeenkomstige wijze wordt de coëfficiënt voor de wrijving tusschen zand en muur berekend met de formules:

$$\begin{aligned} \text{voor verzadiging, } \text{tg } \delta_s &= \frac{V}{H - W_0} \\ &= \frac{V}{H_s - \frac{1}{2} \cdot s_0 \cdot h^2 \cdot b} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

$$\text{voor draineering, } \text{tg } \delta_d = \frac{V}{H_d} \dots\dots\dots (6)$$

Uitkomsten der proeven.

De figuren 9 en 10 geven de uitkomsten der proeven weer. De getrokken lijnen betreffen gedraineerd, de stippellijnen verzadigd zand. De letters, welke

²⁾ H. de B. Parsons „Hydrostatic Uplift in pervious Soils” Trans., Am. Soc. C. E., Vol. 93, p. 1317 (1929).

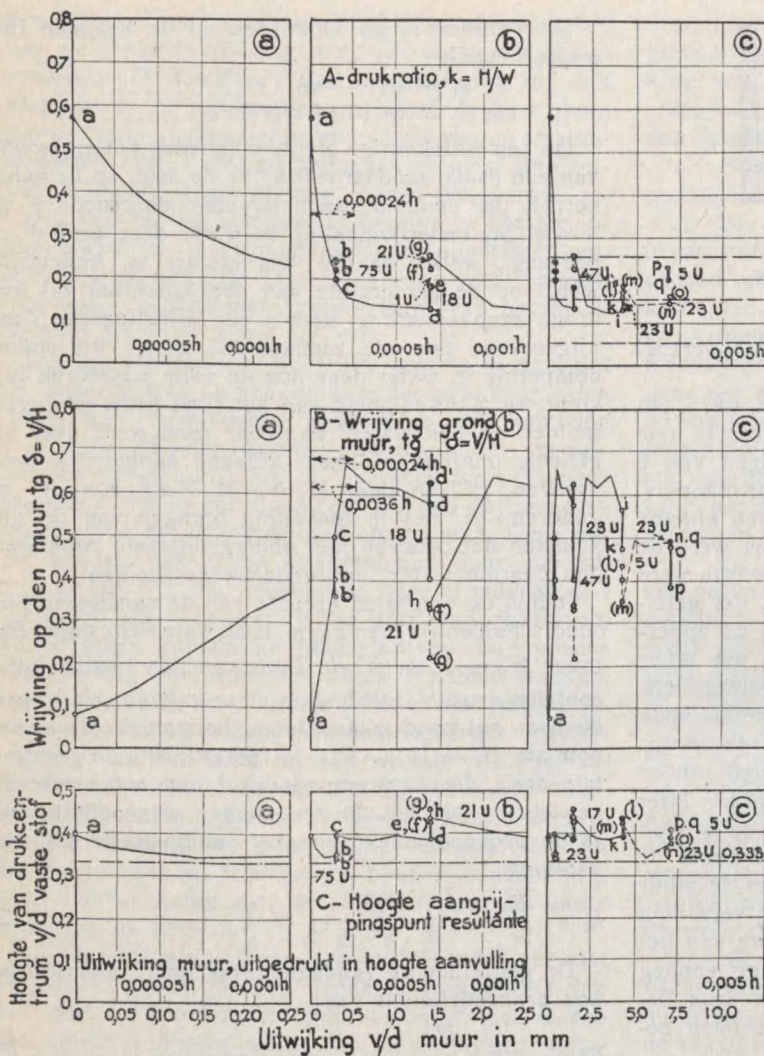


Fig. 9. Ondergedompeld zand. Effect van de muurbeweging op de hydrostatische drukratio, muurwrijving en hoogte van het drukcentrum van het vaste stofgedeelte.

betrekking hebben op den ondergedompelden toestand zijn tusschen haakjes geplaatst. De veranderingen, welke optreden gedurende de rustpoozen, zijn aangegeven met dikke getrokken lijnen voor gedraïneerden en met stippellijnen voor verzadigten toestand van het materiaal. De overgang van den eenen in den anderen toestand wordt voorgesteld door de gapingen tusschen de verticale getrokken en gestippelde lijnen.

Fig. 9A laat den invloed zien van de beweging van den muur en van het drainage- en onderdompelingsproces op de waarde van de hydrostatische drukratio k . De abscissen geven den gemiddelden afstand van de muuruitwijking aan. In fig. 9B wordt door de ordinaten de tangens van den wrijvingshoek ($\tan \delta$) op het muurvlak aangegeven. In fig. 9C is de aangegeven hoogte van het drukcentrum, die van het vaste

zen van den grootsten weerstand. Strikt genomen, moet daarom de uitdrukking „coëfficiënt van inwendige wrijving” beperkt blijven tot de maximum waarde van $\tan \delta$; gemakshalve wordt zij hier gebruikt. Een betere uitdrukking zou zijn „hoek van actieve wrijving” of „hoek van wrijvingsspanning”. Indien voor een willekeurig stadium van de grondrukproef, vóór het optreden van de eerste afschuiving, de waarde van ϕ kleiner dan $\phi_{\max}$ is gevonden, weten wij, dat de deformatie in de zandaanvulling kleiner is, dan ver-

geedeelte van de zandaanvulling.

De diagrammen in fig. 10 komen in ieder opzicht overeen met die van fig. 5. Er wordt op gewezen, dat de bovenste kromme in diagram a van fig. 10 naar boven ombuigt, terwijl de andere krommen allen een benedenwaartsche ombuiging vertoonen. Zooals op pag. 117 werd uiteengezet, wijst de benedenwaartsche ombuiging van de zakkingskromme er op, dat het betreffende punt gelegen is binnen de grens van het bovenvlak van de afschuivingswig. Derhalve moet bij de hierbeschreven proef de breedte van de wig belangrijk grooter dan 710 mm geweest zijn.

Bespreking der uitkomsten.

Invloed van water op inwendige wrijving.

In het eerste hoofdstuk werden de inwendige wrijvingshoeken, welke overeenkwamen met de verschillende stadia van de proefneming met droog zand, berekend met behulp van de formule van Coulomb. Gevonden werd, dat $\tan \phi$ zijn maximum waarde slechts bereikt, nadat de muur over een bepaalden afstand uitgeweken is uit zijn oorspronkelijken stand vóór het optreden van de eerste afschuiving. De betrekking tusschen de maximum waarde van $\tan \phi$ en de kleinere bij de proef gevonden waarden, is dezelfde als de betrekking tusschen den grootsten weerstand tegen afschuiving van een vast lichaam en de schuifspanningen door vormverandering binnen de gren-

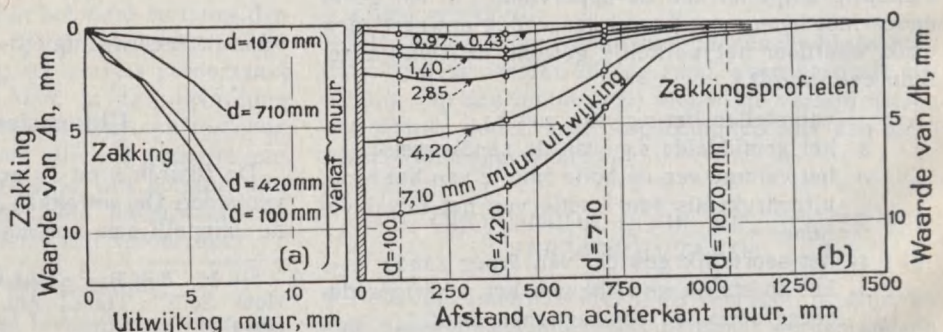


Fig. 10. Invloed van onderdamping en drainage op de zakking.

eischt wordt voor het opwekken van den vollen wrijvingsweerstand van het materiaal.

Tabel I geeft de berekende waarden van ϕ voor de verschillende stadia van de proef van fig. 9, tezamen met de waarden van de drukverhouding, wrijving op den muur, hoogte van het aangrijpingspunt van de resultante en den tijd, welke tusschen de opeenvolgende stadia verloopt. Blijkens deze tabel is de maximum-waarde van den hoek van inwendige wrijving 47° voor gedraineerd en $45^\circ 20'$ voor verzadigd materiaal, waarmede de uitkomsten van de proeven, welke toonden, dat de aanwezigheid van water praktisch van geen invloed op den hoek van inwendige wrijving is, bevestiging vinden. Er is geen tegenspraak tusschen dit feit en het bekende verschijnsel van „uitvloeiing” van verzadigde zandophoogingen, want dit laatste is een hydrodynamisch verschijnsel, dat beperkt blijft tot vrij losse zandmassa's en niets uit te staan heeft met de statische inwendige wrijving.

De oorzaken van de spontane uitvloeiing van verzadigde zandafzettingen zijn behandeld in een vorige publicatie ³⁾ van schrijver.

Tabel I. Betrekking tusschen drukconstanten en uitwijking van keermuur.

Afstand van uitwijking van bovenkant muur in mm.	Toestand van ophooging	Coëfficiënt van hydrostatischen druk k .	Hoek voor wrijving op muur $\text{tg } \delta = \frac{V}{H}$	Hoek van inwendige wrijving ϕ	Hoogte van het drukcentrum van de vaste stof
0,28	Droog (a)	0,575	0,08	$14^\circ 10'$	3,396 h
	Droog (b)	0,219	0,40	$36^\circ 00'$	0,349
	75 u. later (c)	0,200	0,50	$37^\circ 20'$	0,397
1,4	Droog (d)	0,133	0,58	$45^\circ 10'$	0,387
	18 u. later (e)	0,184	0,40	$40^\circ 00'$	0,432
	Verzadigd (f)	0,225	0,34	$36^\circ 00'$	0,433
	21 u. later (g)	0,254	0,22	$34^\circ 00'$	0,460
	Gedraineerd	0,234	0,42	$34^\circ 00'$	0,420
4,2	23 u. later (h)	0,258	0,34	$32^\circ 20'$	0,437
	Gedraineerd (i)	0,127	0,57	$47^\circ 00'$	0,394
	33 u. later (k)	0,160	0,48	$42^\circ 40'$	0,392
	Verzadigd (l)	0,163	0,44	$42^\circ 30'$	0,436
	47 u. later (m)	0,182	0,35	$41^\circ 00'$	0,428
6,9	Verzadigd (n)	0,143	0,49	$45^\circ 20'$	0,374
	23 u. later (o)	0,161	0,48	$42^\circ 50'$	0,388
	Gedraineerd (p)	0,225	0,38	$35^\circ 30'$	0,411
	5 u. later (q)	0,202	0,49	$37^\circ 00'$	0,410

De letters hebben betrekking op fig. 9.

Invloed van de hoogte der aanvulling op de inwendige wrijving.

Voordat het water werd toegelaten in de droge zand-aanvulling bij de proef, waarop de diagrammen van fig. 9 betrekking hebben, was de muur reeds over een afstand van $0,00065 h$ bewogen. Blijkens de hiervoor beschreven proeven met droog zand zou een dergelijke uitwijking voldoende zijn voor het opwekken

van de volle inwendige wrijving van het zand. Bij proef 1 met droog zand (zie hoofdstuk I) werd bij een uitwijking van den muur van $0,00065 h$ een waarde van ϕ gevonden gelijk aan $52^\circ 20'$, terwijl de maximum waarde $53^\circ 50'$ bedroeg tegen resp. $45^\circ 10'$ en 47° bij de hierbeschreven proef. Evenzoo was de maximum waarde van den coëfficiënt voor de wrijving op den muur 0,75 voor droog zand tegen 0,66 voor het verzadigde zand (fig. 9), en de aanvangswaarde van den coëfficiënt van hydrostatischen druk 0,70 tegen 0,58.

Deze cijfers toonen aan, dat zoowel de inwendige wrijving als de wrijving op den muur bij deze proef (fig. 9) aanmerkelijk lager zijn dan bij de proefneming met droog zand. Beide aanvullingen zijn op dezelfde wijze gemaakt (door samendrukking in 6 inch dikke lagen), en het gemiddeld poriënvolume is voor beide even groot gevonden. Het eenige onderscheid bestaat in de hoogte der aanvullingen, daar deze bij de hier beschreven proef 7 ft. bedraagt tegen 4,9 ft. bij de proef met droog zand (proef 1). Deze omstandigheid vestigt de aandacht op het volgende belangrijk verschijnsel.

Voor gecompriemd zand onder geringen druk (kleiner dan ca. $0,1 \text{ kg/cm}^2$) vermindert de maximale hoek van inwendige wrijving snel met de toename van de oppervlaktebelasting. Wij missen een betrouwbare methode voor de directe bepaling van den coëfficiënt van inwendige wrijving voor geringe oppervlaktebelasting. A. Casagrande vond voor gecompriemd Plum Island zand bij beproeving onder hooger en druk waarden voor $\phi_{\max}$, welke varieerden tusschen 35° en 37° ; bij de proeven van fig. 9 bedroeg de normaaldruk op het schuifvlak gemiddeld $0,045 \text{ kg/cm}^2$ en $\phi_{\max}$ 47° ; bij de onder I beschreven proef 1 bedroeg de normaaldruk, $0,025 \text{ kg/cm}^2$ en $\phi_{\max}$ $53^\circ 50'$. Bij vroeger op beperkte schaal door schrijver verrichte onderzoeken betreffende den grondruk van gecompriemd zand, hoog 4 inch, werden waarden gevonden van meer dan 65° . Daarom kan de aanzienlijke hoogte van de aanvulling alleen reeds de betrekkelijk lage waarde van $\phi_{\max}$ in fig. 9 verklaren.

In ieder ander opzicht had de zandaanvulling de karakteristieke eigenschappen van gecompriemd materiaal in tegenstelling met los zand: hoge aanvangswaarde van k , een te verwaarloozen waarde van den aanvangscoëfficiënt van wrijving op den muur, snelle afname van k gedurende het eerste gedeelte van de buitenwaartsche beweging van den muur, een duidelijk maximum van den coëfficiënt van wrijving op den muur, en een ligging van het drukcentrum boven een derde van de hoogte.

Invloed van muuruitwijking en van onderbrekingen.

Zoals uit fig. 9 blijkt, neemt de coëfficiënt van wrijving op den muur toe en de drukratio af bij buitenwaartsche uitwijking van den muur, zoowel voor gedraineerd als voor verzadigd materiaal. Gedurende een onderbreking van de muurbeweging wordt de wrijving op den muur kleiner en de drukratio iets grooter. In dit opzicht bestaat geen verschil tusschen droog en onder water gedompeld zand.

3) K. v. T e r z a g h i, „Erdbaumechanik” (1925), p. 344.

Invloed van drainage en onderdamping.

De diagrammen van fig. 9 laten zien, hoe iedere overgang van gedraineerden in ondergedompelden toestand, of omgekeerd, een discontinuïteit in de kromme geeft en een nogal aanmerkelijke verandering in de spanningen veroorzaakt, welke tevoren in de zandaanvulling heerschten. De bijgaande tabel geeft de betrekkelijke gegevens. Blijkens deze tabel veroorzaakte drainage, nadat de muur over een gemiddelden afstand van 1,4 mm of 0,00065 h was uitgeweken, een geringe afname van de drukratio en een toename van de wrijving op den muur. Na verloop van tijd, nam k weer een weinig toe, terwijl de waarde van $\tan \delta$ afnam. In tegenstelling hiermede veroorzaakte drainage bij een uitwijking van 6,9 mm of 0,0033 h een aanmerkelijke toename van k en een afname van $\tan \delta$; doch vijf uur later was de waarde van k een weinig afgenomen, terwijl $\tan \delta$ grooter was geworden dan tevoren. De invloed van drainage en onderdamping op den zijdelingschen druk schijnt dus af te hangen van den afstand, waarover de muur te voren is uitgeweken.

Invloed van drainage en verzadiging op de dichtheid.

De invloed van drainage en onderdamping op den spanningstoestand in de zandaanvulling is blijkbaar het gevolg van geringe structureele veranderingen, welke in hoofdzaak worden veroorzaakt door de strooming van water door de poriën. Deze verklaring vindt bevestiging in de verticale beweging van verschillende punten, welke aan de oppervlakte gelegen zijn. Door deze waarnemingen werd gevonden, dat onderdamping steeds een rijzing van het zandoppervlak tengevolge had over een afstand van ca. 0,5 mm, onafhankelijk van den stand van den muur. Dit kon worden verwacht, omdat de opwaartsche druk, welke optreedt bij onderdamping, den verticalen druk op de zandkorrels vermindert, waardoor dus een opwaartsche uitzetting mogelijk wordt gemaakt. Bij deze uitzetting glijdt het zand in opwaartsche richting langs den muur, hetgeen de langs den muur in het zand werkende schuifspanningen vermindert en een afname van de wrijving op den muur veroorzaakt.

Anderzijds heeft drainage een grootere zakking tengevolge dan de voorgaande, door onderdamping veroorzaakte uitzetting; de grootte van de zakking van de oppervlakte was verschillend en hing af van de grootte van de muuruitwijking. Zoo veroorzaakte drainage bij een gemiddelde uitwijking van den muur uit zijn oorspronkelijken stand van 1,4 mm een zakking van den top van het bovenvlak van de wig van 1,0 mm; nadat de uitwijking van de muur tot 6,9 mm was toegenomen bedroeg deze zakking 5,0 mm.

Dit oogenschijnlijk onbeteekenende feit verklaart de betrekking, welke gevonden werd tusschen den stand van den muur ten opzichte van zijn oorspronkelijke positie en den invloed van drainage en onderdamping op den zijdelingschen druk. Is de muur slechts weinig uitgeweken, dan zijn de korrels nog in stabiel evenwicht en veroorzaakt drainage slechts een geringe zakking van de zandaanvulling zelve, het-

geen den coëfficiënt van wrijving op den muur doet toenemen en de hydrostatische drukratio k vermindert. Nadert de muur echter tot den stand, waarbij de eerste afschuiving optreedt, dan bereikt de spanning in het zand in de nabijheid van het toekomstige schuifvlak bijna de uiterste grens, en in dien toestand geeft elke uitwendige oorzaak, als trilling of strooming van water door de poriën, aanleiding tot zakking van de korrels in meer stabiele positie. De daaruit voortvloeiende beweging van de zandkorrels draagt het karakter van een spontane inzakking, welke op haar beurt een aanmerkelijke vermindering van de intensiteit van de spanningen tengevolge heeft.

Drukverdeling op den muur.

Blijkens fig. 9c ligt het drukcentrum op een gemiddelde hoogte van 0,4 h met een neiging tot 0,46 h te stijgen. Een even hooge ligging werd waargenomen in hoofdstuk I bij proef 2, waarbij de muur parallel aan zijn oorspronkelijken stand uitweek. Volgens Coulomb ligt het drukcentrum op 0,33 h en volgens de nieuwe theorieën betreffende gebogen schuifvlakken op 0,35 h . Toch wordt bij geen dier theorieën het belangrijke feit in aanmerking genomen, dat de beweging van de zandkorrels, welke met de buitenwaartsche uitwijking van den muur samengaat, aanleiding geeft tot „gewelfvorming” tusschen den achterkant van den muur en de hellende zône van maximale wrijvingsspanning. Gewelfvorming vermindert den druk op het benedendeel van den muur en vermeerderd dien op het middendeel, evenals dit geschiedt in den trechtervormigen bodem van een graansilo.

Helaas was het niet mogelijk in verband met den geringen druk de verdeling daarvan over den achterkant van den muur met Goldbeck-cellen te meten. Niettemin bestaat er geen twijfel aan, of de drukverdeling vóór het optreden van de eerste afschuiving is ongeveer als fig. 11 aangeeft. De figuur laat zien twee mechanisch en physisch mogelijke drukverdelingen, voor een hoogte van het drukcentrum van 0,40 h , (a) van fig. 11, en van 0,46 h , (b) van fig. 11. De drukverdeling volgens (a) benadert den toestand d, fig. 9c, en de rechte gestippelde lijn laat de drukverdeling volgens Coulomb zien. Aan den bovenkant van den muur raakt de drukcurve aan deze Coulomb-lijn, en het oppervlak, begrepen tusschen kromme en achterkant muur, is gelijk aan het oppervlak van den driehoek volgens Coulomb. Als resultaat van de beweging van de zandkorrels gedurende de onderbreking en daaropvolgende onderdamping, gaat de drukverdeling volgens (a) over in die

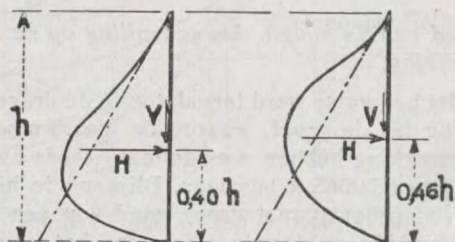


Fig. 11. Drukverdeling op achterkant van den muur voor twee hoogten van het drukcentrum.

volgens (b), zonder dat de stand van den muur wordt gewijzigd.

Om de hooge ligging van het drukcentrum te verklaren, zonder het optreden van gewelfvorming, zou men moeten aannemen, dat het schuifvlak belangrijk sterker gebogen is, dan ooit werd waargenomen bij proeven met cohaesielcos materiaal, vooropgesteld dat een verklaring ooit mogelijk zou zijn. Indien gewelfvorming plaats vindt, kan het benedendeel van den muur slechts een zeer geringen druk ondervinden. De statische invloed van gewelfvorming op den zijdelingschen druk werd voor cohaesief materiaal het eerst onderkend in 1920 door H. G. Moulton ⁴⁾ en J. C. Meen ⁵⁾ en de uitkomsten van onze proeven schijnen deze opvatting te bevestigen voor cohaesielooze grondaanvullingen.

Deze conclusies zijn in geen geval in strijd met de benaderende geldigheid van de formule van Coulomb betreffende de grootte van den zijdelingschen druk, omdat de evenwichtsvergelijkingen voor de grondwig geldig zijn, onafhankelijk van de drukverdeling op den achterkant van den muur en het schuifvlak. Om Coulomb's theorie op de werkelijkheid toe te passen, moet men slechts het begrip van de driehoekige drukverdeling en de hypothese, dat de hoek van inwendige wrijving noodzakelijk indientiek is met den hoek van het natuurlijk talud, elimineeren, een begrip, dat in de theorie door Coulomb's opvolgers werd geïntroduceerd. Daar er geen methode is voor de berekening van den invloed van de gewelfvorming op de ligging van het drukcentrum, moeten wij deze bepalen uit directe waarneming, zooals gedaan werd bij de proeven over gronddruk.

Vorenstaande opmerkingen betreffende de drukverdeling op den achterkant van den muur hebben slechts betrekking op den toestand, vóórdat afschuiving optreedt.

Blijkens de in hoofdstuk I beschreven proeven 1 en 2 daalt het drukcentrum tengevolge van afschuiving tot op of tot beneden een derde gedeelte van de hoogte. De reden is duidelijk: bij afschuiving, komen de korrels in meer stabiele positie en de gewelven zakken in, zoodat de drukverdeling volgens Coulomb zich meer instelt, tenminste benaderd en tijdelijk.

In proef 1 van hoofdstuk I trad de afschuiving op, nadat de muur over een afstand van 0,0027 *h* was uitgeweken. Bij de onderwerpelijke proef trad geen afschuiving op, ofschoon de muur over 0,0033 *h* uitweek.

Dit uitblijven van afschuiving schijnt verband te houden met het feit, dat afschuiving een materiaal vereischt, dat te voren tot de uiterste grens belast is, en omdat zoowel drainage als onderdompeling een afname van de spanningen in de zandaanvulling veroorzaken, kon bij de proef van fig. 9 de spanning niet voldoende hoog oploopen om aanleiding te geven tot afschuiving.

4) H. G. Moulton, „Earth and Rock Pressures”, *Trans. Amer. Inst. of Min. and Met. Eng.*, February 1920.

5) J. C. Meen, „Pressure and Resistance of Soil”, *Brooklyn Engineers Club*, February, 1920.

Conclusies.

1. De zijdelingsche druk, welke de ondergedompelde zandaanvulling uitoefent is gelijk aan de som van den vollen waterdruk en den zijdelingschen druk van het gedeelte vaste stof, waarvan het werkelijke gewicht verminderd is door den drijvenden toestand (opwaartsche druk).

2. De aanwezigheid van water heeft praktisch geen invloed op de coëfficiënten van inwendige wrijving en van wrijving op den muur.

3. Voor een stand van den muur in de onmiddellijke nabijheid van de oorspronkelijke positie, veroorzaakt drainage een geringe vermindering van de hydrostatische drukratio *k* en een toename van den coëfficiënt van wrijving op den muur *tg δ*. Gedurende een daaropvolgende onderbreking neemt *k* toe en *tg δ* af.

4. In tegenstelling hiermede veroorzaakt drainage, nadat de muur over een gemiddelden afstand van 0,001 *h* is uitgeweken, een belangrijke toename van *k* en een afname van *tg δ*. Gedurende de volgende onderbreking wordt *k* kleiner en *tg δ* groter.

5. Onderdompeling heeft een geringe uitzetting tengevolge, drainage een grotere zakking. Staat de muur dicht bij zijn oorspronkelijke positie, dan is de zakking veroorzaakt door drainage geringer dan bij verdere uitwijking van den muur.

6. Uit de proeven blijkt indirect duidelijk, dat aangenomen kan worden, dat vóór de afschuiving op het benedendeel van den achterkant van den muur een lagere druk wordt uitgeoefend dan op het midden-deel, mits de achteraanvulling bestaat uit gecomprimeerd materiaal.

III. INVLOED VAN WATERDRUK OP FIJNKORRELIGEN GROND.

Voor grofkorrelige materialen, als zand, hebben de proeven van H. de B. Parsons ⁶⁾ en anderen duidelijk den invloed van den opwaartschen druk aangetoond. Bij onderdompeling van dergelijk materiaal wordt door het water op ieder vlakje een druk uitgeoefend, alsof het zand niet aanwezig was. Ofschoon dit resultaat kon worden verwacht, was het voor velen toch een verrassing, welke slechts aarzelend aanvaard werd. Het is duidelijk dat met het oog hierop het vraagstuk van den opwaartschen druk in fijnkorrelige materialen, als klei en cementmortel, voorzichtig moet worden aangevat.

Water kan niet binnendringen in materialen, welke geen poriën hebben, als metalen en glas, en in dergelijk materiaal zal dan ook geen opwaartsche druk optreden. Anderzijds is in grof zand het aanrakingsoppervlak tusschen de korrels te verwaarloozen in vergelijking met de totale oppervlakte van de korrels. Hierdoor wordt het gewicht van iederen zandkorrel verminderd met praktisch den geheelen opwaartschen druk.

In materialen, welke tusschen deze twee uitersten liggen en waarbij de korrels door vulling met bindmiddel onderlingen samenhang vertoonen, kunnen de hydrostatische krachten niet werken op die deelen

6) Zie onder 2).

van de korrel-oppervlakten, welke door het bindmiddel (cement) worden ingenomen. Daarom hangt de totale invloed van den opwaartschen druk op korrelig materiaal af van de verhouding tusschen de oppervlakte, waarover aanhechting van het bindmiddel plaats heeft, en de totale inwendige oppervlakte van de vaste stof.

Coëfficiënt van contactdruk.

Fig. 12 laat een vergroote doorsnede zien over ondergedompeld, fijnkorrelig materiaal in directe aanraking met den horizontalen bodem en den verticalen wand van een vast lichaam. De contactoppervlakten van de korrels onderling en met het vaste lichaam zijn verzwaaard aangegeven. De gebogen lijn $S_1' S_2'$ geeft een doorsnede aan, welke een willekeurige vlakke doorsnede $S_1 S_2$ zoo dicht mogelijk benadert zonder de korrels door te snijden. De doorsnede $S_1 S_2$ wordt een „contactdoorsnede” genoemd. Ten aanzien van de contactoppervlakjes, doen wij de volgende aanname: de projectie van de oppervlakjes, volgens welke het gebogen vlak $S_1' S_2'$ de cementfilmpjes snijdt, op het vlak $S_1 S_2$ is gelijk aan m per eenheid van oppervlakte van dat vlak. De opsluitende vlakken $B B_1$ en $B_1 C$ worden verondersteld eveneens aan de korrelige massa verbonden te zijn over een oppervlakte m per eenheid van oppervlakte.

Indien het korrelig materiaal niet aanwezig was of zou bestaan uit zand, zou de opwaartsche druk, aangrijpend op $B B_1$, bedragen $V = h_1 \cdot b \cdot s_0$ en de hydrostatische, zijdelingsche druk op $B_1 C$, $H = \frac{h+h_1}{2} \cdot h_2 \cdot s_0$ waarin s_0 het s.g. van water voorstelt. Tengevolge van de gedeeltelijke vulling met bindmiddel (fig. 12) krijgen deze drukken de volgende waarden:

$$V_1 = h_1 \cdot b \cdot s_0 \cdot (1 - m) \dots \dots \dots (7)$$

$$H_1 = \frac{h+h_1}{2} \cdot h_2 \cdot s_0 \cdot (1 - m) \dots \dots \dots (8)$$

Om dezelfde reden vermindert het s.g. van het ondergedompeld materiaal door den opwaartschen druk tot:

$$s_2 = (1 - n) \cdot \left\{ s - (1 - m \cdot s_0) \right\} = (1 - n) \cdot (s - s_0 + m \cdot s_0) \dots \dots \dots (9)$$

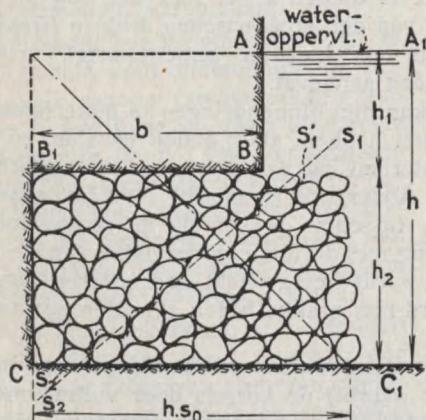


Fig. 12. Diagram, voorstellende gedeeltelijke vulling met bindmiddel, welke van invloed is op de berekening van den hydrostatischen druk en den opwaartschen druk in fijnkorrelig materiaal.

waarin n voorstelt het poriënvolume en s het s.g. van de vaste stof. De waarde m wordt genoemd de „coëfficiënt van contactdruk”. De waarde $1 - m$ komt overeen met Parson's „effective area”. Blijkens de uitkomsten van gedane proeven bedraagt voor zand $m = 0$, $V_1 = V$, $H_1 = H$ en $s_2 = (1 - n) \cdot (s - s_0)$.

Het vraagstuk bestaat dus zuiver uit bepaling van de waarde van m . De door Parson en andere onderzoekers toegepaste methode kan voor fijnkorrelig materiaal niet worden gebruikt, omdat de verstoringe invloed van het tijdelement snel toeneemt bij afname van de korrelgrootte. Door schrijver is daarom een indirecte methode toegepast, gebaseerd op een algemeene interpretatie van het bekende breukdiagram van Mohr.

Interpretatie van breukdiagrammen.

In fig. 13 stelt a een dwarsdoorsnede voor over een cilindrisch monster van korrelig materiaal, als b.v. portlandcement-mortel. De verdikte lijnen geven de plaatsen aan, waar de korrels aan elkander zijn gecementeerd. Het materiaalmonster wordt verondersteld droog te zijn en geheel afgesloten door een ondoorlatende huid. Het wordt op de volgende wijze aan een samendrukkingsproef onderworpen. Eerst wordt de oppervlakte van het proefmonster onder een hydrostatischen druk p per eenheid van oppervlakte gebracht. Vervolgens wordt aan den constanten hydrostatischen druk een lineaire druk van toenemende intensiteit toegevoegd, werkende uitsluitend in de verticale asrichting. Bij het bereiken van de intensiteit C veroorzaakt deze toegevoegde druk breuk. De waarde C stelt den weerstand tegen samendrukking voor, welke behoort bij den hydrostatischen druk p .

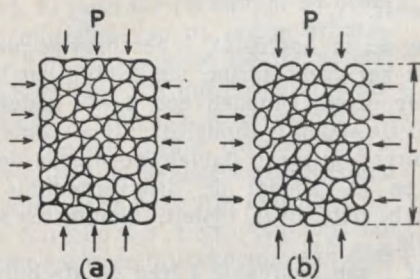


Fig. 13. Ondergedompeld monster van granulair materiaal onder hydrostatischen druk met en zonder ondoorlatende huid.

Volgens Mohr kan de invloed van p op de breukvastheid C van het grondmonster worden weergegeven in een diagram (fig. 14a). In dit diagram is de uitkomst van iedere proef weergegeven door een cirkel, welke door twee punten gaat met onderscheidenlijk abscissen p en $(p + C)$. Blijkens de met korrelig materiaal opgedane ervaring, neemt de diameter der cirkels snel toe van af den oorsprong O naar rechts toe. Breuk treedt in den regel op langs schuifvlakken, welke een hoek van $(90 - \alpha)$ vormen met de richting van den toegevoegden druk C .

Indien we een rechte lijn trekken vanuit het midden van een willekeurigen cirkel naar het aanrakingspunt B_1 van cirkel en omhullende $A_1 A_2$ van alle

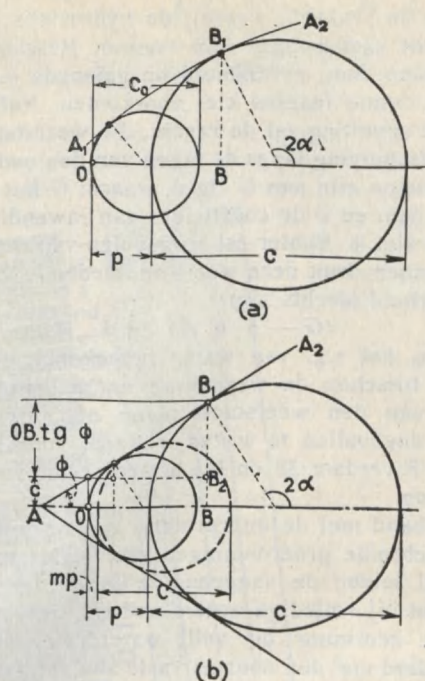


Fig. 14. Invloed van hydrostatischen druk op drukweerstand van granulaire materialen volgens Mohr.

breukcirkels, is de hoek tusschen deze lijn en de as gelijk aan 2α . De ordinaat BB_1 van B_1 is de schuifspanning en de abscis OB is de normaalspanning, welke op het breukvlak werken op het moment van den breuk.

In het algemeen zijn de omhullenden $A_1 A_2$ een weinig gebogen. Echter kan men voor drukken p tot ongeveer 100 atmosfeer de krommen $A_1 A_2$ vervangen door rechte lijnen, als in fig. 14b is geschied. Volgens dit diagram bestaat de weerstand langs het breukvlak uit twee gedeelten, t.w. de cohesie c , onafhankelijk van de intensiteit van de normaalspanning, en een wrijvingsweerstand $OB \cdot \tan \phi$, waarvan de intensiteit toeneemt recht evenredig met de normaalspanning. Voor marmer vond Kármán ⁷⁾ voor ϕ bij lage drukken een waarde van ongeveer 32° ; en Brandtzaeg ⁸⁾ voor beton eveneens bij lage drukken een waarde van ongeveer 40° . Beide waarden zijn van dezelfde orde van grootte als de hoek van inwendige wrijving voor zand.

Aangezien toename van den hydrostatischen druk p den weerstand van de klei- of morteldeeltes niet beïnvloedt, moet de wrijvingsweerstand $OB \cdot \tan \phi$ zetelen in de filmpjes vaste stof bij de aanrakingspunten van de korrels. Daarom hangt de invloed van p op den drukweerstand van het materiaal uitsluitend af van de intensiteit der drukken, welke op die contactpunten optreden. Uitgaande van dit feit, kan de coëfficiënt m gemakkelijk worden bepaald. Daarvoor

is het slechts noodig de ondoorlatende huid weg te nemen, fig. 13b, en het grondmonster onder te dompelen in een vloeistof, welke onder een druk p kan worden gebracht. In dit geval zal een gedeelte $m \cdot p$ van de vloeistofdruk in de aanrakingspunten van korrel op korrel worden overgedragen, terwijl het resterende deel door de vloeistof zelve wordt overgebracht. Uiteraard zal de op de cementfilmpjes werkende druk slechts gelijk zijn aan m maal de druk bij proef a, fig. 13. Het wegnemen van de waterdichte huid heeft dus hetzelfde effect op den drukweerstand van het grondmonster als reductie van den hydrostatischen druk van p tot $m \cdot p$, en bij gelijke drukken zal zijn drukweerstand C' kleiner zijn.

Volgens Mohr's diagram kan geen breuk optreden, tenzij de bijbehorende cirkel de omhullende $A_1 A_2$ raakt, fig. 14. Daarom zal, wanneer de uitkomst van de proef met het onafgesloten monster wordt voorgesteld door den gestippelden cirkel met diameter C' , rakend aan $A_1 A_2$ de abscis van het linkersnijpunt van den cirkel met de horizontale as gelijk zijn aan de onbekende waarde $m \cdot p$.

Uitkomsten der proeven en conclusies.

In 1928 werden proeven van dezen aard gedaan met zeer plastische zeeklei ⁹⁾ en in 1933 met beton. De klei had een watergehalte van 28% van het drooggewicht, een plasticiteitsindex van 23, en een hoek van inwendige wrijving van 24° . De beton bestond uit een mengsel van 236 kg portlandcement op 1 m³ verhard beton.

De uitkomst van de proef met klei, welke fig. 15 toont, gaf een waarde voor m van ca. 0,02. Voor beton werd een waarde van nagenoeg 0 gevonden, terwijl overeenkomstige interpretatie van oudere proeven met cementmortel ¹⁰⁾ eveneens een waarde gaf van bijna 0. Derhalve moet voor al deze materialen aangenomen worden, dat daardoor de hydrostatische druk even vlug wordt overgebracht als door grof korrelig zand. De oppervlakte van ieder vast lichaam in directe aanraking met ondergedompelde klei of cement is onderhevig aan een hydrostatischen druk van

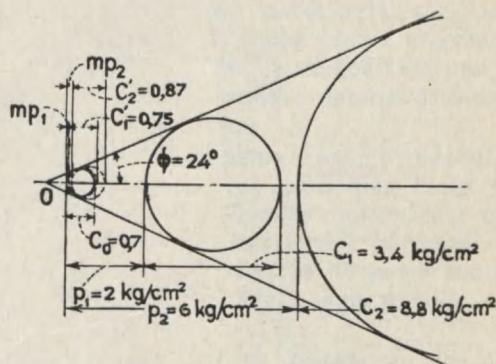


Fig. 15. Uitkomst van de proef met plastische zeeklei toont vrije overdracht van den hydrostatischen druk.

9) K. v. Terzaghi, „Tragfähigkeit der Flachgründungen,” Proc., First Congress Int. Assoc. for Bridge and Struct. Engineering.

10) P. Fillunger, „Versuche über die Zugfestigkeit bei allseitigem Wasserdruk,” Oesterr. Wochenschr. für den öff. Baudienst, Wien, 1915.

7) Th. v. Kármán, „Festigkeitsversuche unter allseitigem Druck,” Zeitschr. Ver deutsch. Ingenieure, 1911, p. 1749.

8) Frank E. Richart, A. Brandtzaeg en R. L. Brown, „A Study of the Failure of Concrete Under Combined Compressive Stresses,” Univ. of Ill. Bulletin, Vol. XXIV, No. 12, 1928.

dezelfde intensiteit alsof het poreuze materiaal niet aanwezig was.

De reden, waarom deze belangrijke feiten aan de aandacht ontsnapten van practici, moet gezocht worden in de traagheid, waarmee de hydrostatische druk zich manifesteert in het geval van fijnkorrelig materiaal tengevolge van zijn geringe doorlatendheid. Neem b.v. aan, dat de betonvloer van een fundeering onder grondwaterniveau rust op een laag stijve klei. Teneinde druk op den vloer te kunnen uitoefenen, moet het water eerst vanuit het zand door de kleilaag heendringen. Daar de snelheid van doorsijpeling van water door stijve klei bij middelmatigen hydraulischen gradiënt slechts een fractie van een inch per jaar bedraagt, zal het proces jaren vorderen; alvorens het eerste zichtbare effect optreedt. Verder is in de meeste gevallen de doorlatendheid van beton aanzienlijk grooter dan van klei. Bijgevolg zal het water continu stroomen, waarbij het grootste deel van den hydraulischen overdruk verbruikt wordt voor de doorstroming door de kleilaag. Ondanks deze permanente doorstroming kan de oppervlakte van de betonfundeering steeds droog schijnen, omdat zelfs in een kelder de snelheid van verdamping belangrijk grooter is dan den kwelgraad door dichte klei.

Vandaar dat empirische waarneming tot de onjuiste opvatting heeft geleid, dat in die gevallen geen opwaartschen druk aanwezig zou zijn. Toch zijn er ge-

vallen in de praktijk, waarbij de hydrostatische druk in klei tot catastrophes kan voeren. Beschouw een gemetselden dam, gefundeerd op gelaagde lei, waartusschen dunne laagjes klei voorkomen. Volgens de gangbare opvatting zal de kracht, die weerstand biedt aan de afschuiving langs de lagen van den ondergrond gelijk moeten zijn aan $G \cdot \text{tg } \phi$, waarin G het gewicht van den dam en ϕ de coëfficiënt van inwendige wrijving van klei is. Echter zal tengevolge van den vollen opwaartschen druk deze weerstandbiedende kracht in werkelijkheid slechts zijn:

$$(G - h \cdot b \cdot s_0) \cdot \text{tg } \phi$$

waarin s_0 het s.g. van water beteekent. Aan het verschil tusschen de werkelijke en de aangenomen waarde van den weerstand tegen afschuiving zijn wellicht ongevallen te wijten, als zich voordeden bij de Ohio Riverdam 26 en bij het reservoir van Nashville, Tenn.

In verband met de interpretatie van de uitkomsten van uitgebreide proefnemingen met ondergedompeld materiaal leiden de aangehaalde feiten tot de conclusie, dat bij volledige waterdichtheid, de achterkant van den keermuur de volle waterdruk ondervindt, vermeerderd met den door de vaste stof uitgeoefenden druk. Deze conclusie geldt onafhankelijk van de correlafmeting van het materiaal.

(Wordt vervolgd).