

Skutek sił F i M należy rachować prostopadły do spoienia: summa dwóch ciśnień cząstkowych będzie ciśnieniem całem, czyli szukaną wartością P .

Ciśnienie częściowe od siły F pochodzące będzie $=F \cdot \cos \alpha$; ciśnienie sprawione od siły M będzie też $M \cdot \sin \alpha$; stąd ich summa $F \cdot \cos \alpha + M \cdot \sin \alpha = P$.

To zrównanie da nam poznać ciśnienie P , iakiego doświadcza każde spoienie: pokazuje oraz, iż to ciśnienie dla zamka jest $=F$, a dla wezglłowia $=S=M+N$, gdy spoienie nasady jest poziome.

A że ciśnienie P , jest siłą odmienną dla każdego spoienia; stąd się wywiązać może ciekawe i pożyteczne zadanie: wiedzieć, na które spoienie ciśnienie P jest największe, i iakie jest wówczas wyrażenie wartości iego.

Naydziemy kąt α , spoienia o które idzie, czyniąc $=0$ różniczkę wartości P , gdzie F uważa się za ilość stałą; a kładąc tam zamiast M wartość iego w funkeyi α , daną przez postać sklepienia, będzie

$$M \cdot \sin \alpha - F + \frac{dM}{d\alpha} = 0.$$

Wynalazłszy α z tegożo zrównania i tę iego wartość włożywszy w zrównanie poprzedzające, otrzymamy szukane największe ciśnienie P .

PRZYBLIŻONA I PRAKTYCZNA NAUKA O RÓWNOWADZE SKLEPIEŃ.

26. Zastosowanie wyższego rachunku bywa niekiedy pełne niepokonanych przeszkod; bo zaniedbując w nim niektó-

rych względów, możemy od ścisłej prawdy odstąpić jeszcze bardziej, niż kiedy całkowicie polegamy na prawidłach praktycznych: a przeciwnie dając w nim wzgląd na wszystkie okoliczności, zadanie stanie się tak powikłaném, iż rozwiązać je często bywa rzeczą niepodobną. Nadto, w wielu razach niektóre fenomena fizyczne nie są jeszcze tak dobrze poznane, iżby ich skutki obliczyć było można; a przypuszczenia, iakie dla braku dokładnych wiadomości na ich miejsce przyymujemy, koniecznie prowadzą do wypadków niepewnych. I w takim właśnie stanie znajduje się teorya sklepień. Lecz z drugiey strony, dla tey niedoskonałości, teoryą całkiem odrzucać, byłoby wielkim nierozsądkiem; gdyż teorya, tłumaczy nam wiele rzeczy w postępowaniu praktyczném, inne prostuje, albo mylność ich wytyka. Wszakże wypadki rachunku zawsze są prawdziwe, a jeżeli wypadki doświadczenia które do rachunku wprowadzamy są niedostatecznymi, potrzeba raczey, miasto nich, podstawić inne, przesadzające wpływ siły burzącey, aby opór z nadmiarem otrzymać.

Sposób przybliżony PP. Lamé i Cléperon.

27. Zpomiedzy dwóch przypuszczeń, na których polega teorya równowagi niedoskonałych sklepień, czyli nierównoważących się w sobie i ze swemi wezglówkami, większą mawziętość to przypuszczenie, w którém sklepienie wraz ze swemi wezglówkami uważa się za cztery drażki, niby zawiąsami z sobą połączone; równego ciężaru każdy z osobna iedney ze czterech części sklepienia, z których dwie biorą się w iedno z wezglówkami iakoby zrosłe. Dwa naprzód drażki, są równe dwóm częścią sklepienia zamkniętym pomiędzy środkiem zamka a spoieniami miejsc słabych; dwa drugie,

dwóm częściom zamkniętym między temi spoieniami mieysc słabych, a podstawami wezglówiów. Liczne postrzeżenia przekonywają, iż dwa z tych niższe drażki, usiłują obracać się około zewnętrznych wezglówiów krawędzi, i że wtenczas dwa wyższe, dotykając się w zamku na grzbiecie sklepienia, opierają się krawędziami podniebienia, o spoienia mieysc słabych; co wyraźniej na figurze widzieć się daie.

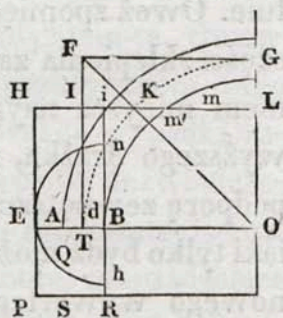
Aby wynaleźć zrównanie równowagi pomiędzy temi drażkami, należy z pewnością wiedzieć położenie spoień, wedle których sklepienie otworzyć się usiłue. Owoż z pomiędzy wszystkich spoień, które na niższej części sklepienia za takie uważać możemy, to będzie spoieniem mieysca najsłabszego, dla którego *moment* parcia wyższego drażka, na ruchomy koniec niższego, (biorąc za podporę zewnętrzną krawędź wezglówia) iest największy iaki tylko byđź może, porównany z momentem ciśnienia pionowego wywartego na tenże koniec ruchomy. Potrzeba więc obliczyć dwóch tych sił momenta, dla któregokolwiek punktu podniebienia, przez funkcją iedney zmiennej, której wartość oznaczy się przez znalezienie *maximum* stosunku obudwóch momentów. Lecz w tym razie nalezienie *maximum* staie się prawie niepodobném dla wielkiego powikłania rachunku, do którego to działanie prowadzi. W takim stanie rzeczy przestaiemy pospolicie na szukaniu kilku tych stosunków, dla kilku spoień, od woli obranych, i to z nich bierzemy za spoienie mieysca słabego, dla którego ten stosunek momentów wypadnie największy.



Sposób takiego trafunkowego wynaydowania mieysc słabych i na nim oparte warunki równowagi sklepień, wyłożyli PP. Lamé i Cleyperon (*); którychto sposobu użyć możemy, ilekroć z dostateczną ścisłością parcie sklepień i opór ich wezglówiow obliczyć będziemy powinni. Wszakże w zwyczajnych budowlach, z zupełną ufnością polegać możemy na sposobach praktycznych, które nam Rondelet podaje (**).

Sposób praktyczny oznaczania grubości wezglówiów.

28. Rondelet z wielkiej liczby doświadczeń wyszedł prawo ogólne działania równogrzbietowych kolebkowatych sklepień, iakabykolwiek była linia tworząca ich podniebienie; a stąd wzór na grubość ich wezglówiow wyprowadził następującym sposobem: wykreśliwszy łuk pośrzedni GKT , w punktach iego G i T prowadzi styczne spotykające się w punkcie F , z tego punktu daie węgielną FO , przecinającą łuk w punkcie K . Punkt ten oznacza mieysce, w którym się wywiera największa siła, i w którym sklepienie otwiera się, kiedy wezglówie zbyt iest cienne dla wytrzymania iego parcia. Przez punkt K , prowadzi linią poziomą IKL ograniczoną pionowemi OG i TF ; ta linia pozioma oznaczać ma poziome wszystkich kłinców parcie, a pionowa TF wyobrażać będzie zbiór sił pionowych. Łuk zatém pośrzedni GKT oznacza siły z obudwóch tych sił złożone. Część IK linii poziomey IKL , mnożona przez grubość sklepienia, którą tu wciąż iednaką bierze, wyobraża



(*) Journal des voies de communications. St. Petersbourg l'année 1826. N. II.

(**) RONDELET. Tome III. 5ème Livraison.

mu siłę parcia części niższej sklepienia; podobnież KL mnożona przez tę samą grubość ma znaczyć siłę części wierzchniej. Obiedwie te siły, iako działające w strony wprost przeciwne, w części się niszczą; a tak odcinając IK od K do m różnica mL mnożona przez grubość sklepienia daie siłę iego parcia. Siła ta działająca w punkcie K za ramie mieć będzie linią PH , to iest: prostopadłą z punktu P iako punktu stałego wezglowia do kierunku poziomego parcia wyprowadzoną; przeto iey natężenie czyli moment wyrazi się przez $mL \times AB \times PH$.

Temu parciu opiera się wezglowie: 1^{od} Własnym ciężarem, który wyobrażony iest przez iego przecięcie czyli powierzchnią $EP \times PR$, mnożoną ieszcze przez ramie siły PS , linia ta oznaczoną zostanie przez spuszczoną prostopadłą ze śrzodka ciężkości Q . 2^{re} Siłą ciężarów części wierzchniej, która iest $= IF \times AB$; siła ta działa w punkcie K , więc ramie iey będzie HK . 3^{cie} Siłą ciężarów części dolnej, równą $TI \times AB$; ta działa w punkcie T , więc TE będzie iey ramieniem. A tak w stanie równowagi złożyć się musi następujące zrównanie:

$$\overline{mL \times AB \times PH} = \overline{PE \times RP \times PS} + \overline{IF \times AB \times KH} + \overline{IT \times AB \times TE}.$$

Nazywając

$$\begin{aligned} mL \times AB & \dots\dots\dots p, \\ \text{wysokość wezglowia } EP & \dots\dots\dots a, \\ EH = TI & \dots\dots\dots d, \\ \text{stąd } PH & \dots\dots\dots a + d, \\ EB = PR & \dots\dots\dots x, \\ \text{stąd } PS & \dots\dots\dots \frac{x}{2}, \end{aligned}$$

$IF \times AB$	m ,
$IT \times AB$	n ,
część iK poziomey IKL	c ,
TB równe połowie grubości sklepienia.	e ,
stąd HK	$c + x$,
TE	$x - e$.

Zrównanie poprzedzające tym sposobem przerobione i rozwiązane wyda,

$$x = \sqrt{2p + \frac{2pd + 2ne - 2mc}{a} + \frac{b^2}{a^2}} - \frac{b}{a}.$$

To zrównanie służy do naleźnienia grubości wezgłowia, albo innej podpory, odpowiedney parciu wszelakich sklepień kolébkowatych wciąż równej grubości.

Oznaczenie
grubości wez-
głowia przez
wykreślenie.

29. Niech będzie, iakie się podoba mieć, podniebienie sklepienia; wykreśliwszy łuk pośredni TKG , sieczną FO , i przez punkt K poziomą IKL , prowadzę pionową z punktu B , która poziomą spotka w punkcie i , przenoszę iK od K do m' a $m'L$ od B do h , toż podwóyną grubość sklepienia od B do n . Rozdzielam potem hn na dwie równe części w punkcie d , i z tego punktu, iako ze środka, promieniem równym połowie hn , zatoczę koło; okrąg iego rozetnie linią poziomą AB w punkcie E ; część iey BE jest ową grubością, którą wezgłowiu dadź powinienem, i przy której ono będzie miało dostateczną stałość dla wytrzymania parcia danego sklepienia.

Oznaczenie
grubości zam-
ka w sklepie-
niu.

50. Grubość zamka, w sklepieniach mostów starożytnych jest między 10^{ta} a 12^{ta} częścią średnicy otworu. L. B. ALBERTI przestrzega, aby mniejszą nie była od części piętnastey.

Doświadczenie pomyslnemi skutkami stwierdzone, wprowadziło we zwyczaj u inżynierów francuzkich, prawidło praktyczne naznaczania grubości zamka w wielkich mostowych sklepieniach, które to prawidło iest następujące (*): *weź $\frac{1}{24}$ część otworu sklepienia, do tey przyrzuc ilość stałą, to iest, iedną stopę długości; od tego odtrąć $\frac{1}{144}$ otworu, a coć pozostanie, będzie to grubością szukaną.*

Co się zaś tycze grubości sklepień, nienoszących na sobie obcego ciężaru, to o niéy u Rondeleta czytamy co następuje. „Doszedłem tego, mówi on, równie iak P. Couplet, iż najmnieysza, grubość sklepienia kolébkowatego równey wciąż grubości, nie może bydz mnieyszą od piędziesiątey części promienia tego okręgu koła, którego połowa iest linią tworzącą podniebienie sklepienia.”

„Wszakże ponieważ kamienie i cegła, których do budowania używamy, nigdy nie są tak doskonałe, za iakie w teoryi są miane, można tedy za najmnieyszą grubość w zamku, sklepieniom kolébkowatym od 9 do 15 stóp promienia, położyć cztery cale, bądź to są z iedney warsty cegieł rębem kładzionych, bądź też ze dwóch płazem ułożone będą; pięć zaś cali sklepieniom z kamienia miękkiego; lecz zawsze grubość tę należy powiększać aż do tego mieysca, gdzie się grzbiet ich ze ścianą łączy. Ale skoro pachy napełnione będą aż po mieysca, w których sklepienia pękaia, wówczas grubość owa, w sklepieniu gockiem czyli strzałkowém naprzykład,

(*) SGANZIN. Programme du Cours de Construction.

może być $\frac{1}{140}$ częścią promienia, a w sklepieniu półokręgowym $\frac{2}{66}$ jego częścią.”

„Dla sklepień spłaszczonych i niezłożonym łukiem koła uformowanych, za najmniejszą grubość weźmiemy piątą część strzały łuku GK , to jest tego łuku, który jest zawarty między wierzchołkiem a miejscem, w którym sklepienie pęka; albo co iedno znaczy, część piątą wstawy odwrótny łuku, który jest łuku GK połową. To ostatnie prawidło równie dobrze stosować się daie, do sklepień gockich iak i do wszelkich sklepień kolébkowatych. Do wypadku tylko otrzymanego przez to działanie, dodamy jeszcze $\frac{1}{144}$ część cięciwy łuku GK dla sklepień na roztworze gipsowym murowanych; dla sklepień zaś na zaprawie wapienney robionych $\frac{1}{96}$, a podobnież $\frac{1}{72}$ dla sklepień z miękkiego ciosowego kamienia; ale to natenczas kiedy sklepienia obciążonemi być nie mają.”

„Grubość sklepienia wzrastać będzie od połowy zamka aż do miejsc słabych, gdzie sklepienie mieć powinno półtora raza większą, od grubości wynalezioney dla zamka.”

Budowanie
sklepień.
Tab. II.

51. Sklepienia mogą być robione z ciosu, płyty, i cegły, a być składane na zaprawie wapienney albo na roztworze gipsowym: niekiedy w budowaniu sklepień mieszają się te różne wątku rodzaje.

Iak przyciosywać kamienie podług pewney krzywizny podniebienia, iaki w każdym razie i miejscu sklepienia, ma być kierunek i iaka *przemiana* spoień, (*rachetement de joints*) tego wszystkiego obszernie uczy osobna umiejętność, ciesiołką kamieni nazwana. Przytoczyliśmy główne iey zasady w Części I^{ej} pod liczbą 110, które równie dobrze, do

sklepień z płyty i cegieł, iak i do ciosowych przypadaia. Stosując ie do sklepień płytowych lub z cegły złożonych, okazuje się: 1^o iż rzędy płyt lub cegieł będą się z sobą spotykały pod kątami, ile można, równemi; 2^{re} iż spoienia pionowe póyda w przewież, poziome zaś wciąż i równolegle; 5^{cie} nakoniec, iż ściany spoień i łóżyska warst będą węgielne do podniebienia. Podług tych prawideł porobione związki kamiennego materyału w Części Iey, (Tab. III. wzory 15....22) wszystkie, iako pierwiastki murów krzywych, użyte bydz mogą w budowaniu sklepień. Przydaiemy tu jeszcze ieden związek cegieł przykrzesanych (wzór *C. D.*), dla złożenia mocnych krawędzi w sklepieniach krzyżowych.

Iakikolwiek materyał do budowli sklepienia obrany będzie, zawsze robota wykonywa się na obłęczystém drewnianém łożu, które pod ciężkie ciosowe sklepienia robi się z tramów grubych, pod małe zaś i lekkie ceglane wiąże się z tarcic. Ten szczególny do budowania sklepień służący przybor składa się z osobnych *krążyn* (cintre). Te, iakby odcinki drewnianych kręgów, mają obwód taki właśnie iaka ma bydz krzywizna podniebienia, i powstaią albo z tramowey więzby, iakby z cięciw i promieni ułożoney (wzór 7. 8. 9), albo z dwóch warst naprzemian gwoździami skowanych tarcic (wzór 10). Krążyny rozstawiamy pionowo w równey od siebie odległości, końcami oparte o poziomie leżące wedle ścian *podkładziny*, których tym iest więcej, im sklepienie obszerniejszém będzie. Podkładziny podparte są *stupcami*, które wiążą się pomiędzy sobą *mieczami*, z tarcie albo łat,



Wzór 7. 8. 9.

Wzór 10.

mocno przybitemi. Na tak ustawionych krążynach kładzie się drewniany *pomost* naśladowujący krzywość podniebienia. Pomost ten albo jest z tramików iak szczeble ułożony (wzór 7), albo z tarcie szczelnie i w przewież usłany (wzór 10). Nadto, tarcicowy pomost iużto całkowicie od razu, iuż, dla wygodniejszego rzemieślnikowi stania, robi się następnie w miarę wznoszącego się sklepienia, z deszczek wcześniej przygotowanych. Czasem też sklepieniowe łoże wyrabia się z nasypanej ziemi lub z gruzu namurowane bywa (wzór 9).

Kiedy sklepienie ma być z ciosowego kamienia, natenczas kładzenie ciosowych iego klinców, odbędzie się zachowując te wszystkie prawidła, które wymieniliśmy mówiąc o murze ciosowym (C. I. 112). Kiedy zaś sklepienie składać się będzie z płytowego kamienia młotem tylko zgruba okrzezanego, wówczas pod każdą płytę rozpościera się warsta zaprawy równie na pomoście sklepienia, iak i na sąsiedniej iuż położonej płycie. Lecz nim się ta na miejsce swoje położy, trzeba ją w wodzie ponurzyć, iżby się zaprawy lepiej imała i z prochu opłókaną była. Po położeniu każdą też płytę do drugiej przycisnąć należy, uderzając młotkiem mularskim.

Ponieważ łożyska warst i ściany spoień zawsze węgielne być mają, a płyta jest równoległościenna, przeto ściany iey spoień na pomoście leżące szczelnie przystawać będą, lecz na grzbiecie sklepienia rozwarte być mogą; dla tego więc płytkami kamienia skałkami oklinować tu ie należy, i dobrze rozrzedzoną zaprawą z góry pozalewać.

Toż samo postępowanie ściśle zachowywane będzie przy budowaniu sklepień ceglanych; tylko, że gdy cegły są foremniejsze od płyty i zawsze znacznie mniejszej objętości, łączniej się tedy podług krzywizny ułożą i nie będą miały spoień rozwartych na grzbiecie sklepienia, stąd też nie będzie potrzeby skalkami je zapęłniać. Nadto, zaprawę z cembrzyka samą cegłą, dla pośpiechu, czerpać można, i w czasie kładzenia rozpościerać po położoney już cegle.

Sklepienie ceglane dłużey na krawężynach utrzymywane bydź powinno niż skłēpienie ciosowe, a nawet niż płytowe; a to z przyczyny znacznie w niēm większey ilości zaprawy; którey też czas do skrzepnienia dłuższy zostawić należy. Siła bowiem zaprawy wiążąca części sklepienia, iest w stosunku powierzchni spoień, porównaney z objętością klinców. Iakoż, kliniec ciosu iedney stopy sześcienney łączyć się może z przyległemi sobie, z każdym podług iedney stopy kwadratowej, a tak dotyka się innych na obszerności stóp czterech. Lecz ieżeli na mieysce ciosowego klinca położymy trzy płyty kamienne, tedy zaprawa łączyć ie będzie na powierzchni ośmiu stóp kwadratowych. Nakoniec, używając cegieł, gdy tych w teyże objętości może bydź dwadzieścia siedm, przeto dotykające się zaprawy powierzchnie rozwinięte, dadzą razem trzynaście stóp kwadratowych. Tak więc siła wapna, kamienie wiążąca, będzie iak cztery: płyty, iak ośm: a cegły, iak trzynaście. Stąd wypada, że sklepienia z płyty, przez połowę mniejsze parcie mieć powinny od sklepień ciosowych; ceglane zaś cztery blisko razy mniejsze. Mała ilość zaprawy używana do sklepień ciosowych okazuje, iak w nich mało

też na iey mocy wiążącey polegać należy. Ale są inne sposoby, których z wielkim skutkiem do sklepień ciosowych używać można: iako spony i czopki metalowe, które statecznie naidziemy w starożytnych rzymskich ciosowych sklepieniach. Sposoby te lepsze są w tym razie od zewnętrznych ściągających więzów i kotwi żelaznych, dziś w użyciu będących.

Starożytni Rzymianie, polegając na wybornych przymiotach swoiey zaprawy, często robili sklepienia z samego gruzu maczanego w kąpieli zaprawy wapienney, czyli odlewali ie raczey z małych okruszyn i kawałków purchatego kamienia (pumex) lub tufu wśród obfitey zaprawy w nieładzie rzuconych. Czasem też do wierzchnich części wielkiego sklepienia używali tego lekkiego kamienia sposobem ciosu; lecz częściej taką gruzową robotę przewiazywali wzdłuż i wpoprzek pasami płyty lub cegieł. Przykłady muru takiego widzieć w Części I. Tab. III. wzory 15 i 16.

Kiedy sklepienie z płyty, cegły, bądź też z gruzu starannie zrobione będzie; kiedy ma grubość przyzwoitą i do zupełnego w niem skrzepnienia zaprawy na krążynach się wystoi; tedy stanowi na przyszłość iedną bryłę, żadnego niewywierającą parcia.

Czas i sposób
wymowienia
krążyn.

52. Ponieważ chwila, w której się wymuią z pod sklepienia krążyny, iest dla niego nayniebezpiecznieyszą, potrzeba więc w tey czynności postępować z przyzwoitą roztropnością. I tak, pierwey należy obudzić działanie w częściach niższych opierających się, niżeli w wierzchnich, od których parcie pochodzi. Prócz tego, częściom niższym skle-