

# O grafometrze podziemnym gen. Komarzewskiego i znaczeniu tego narzędzia w dziejach teodolitu.<sup>\*)</sup>

Napisał Inż. Dr. Feliks Kucharzewski, Profesor hon. Politechniki Warszawskiej.

Miernictwo górnicze, które Niemcy nazwali markszajderstwem, a Francuzi geometrią podziemną, powstało razem z kopalniami i już Jerzy Agricola, założyciel wiedzy metalurgicznej w Niemczech, w swych dwunastu księgach *De re metallica*, wydanych w r. 1546, opisuje narzędzia do dziś dnia używane, do oznaczania położenia żył i pokładów, pomiaru ich rozciągłości i upadu. Do mierzenia kąta na poziomie czyli, jak mówią górnicy, kąta kierunku, służył już wtedy kompas górniczy, a kąta nachylenia — półkole wiszące z pionem. O stanie miernictwa górniczego w końcu XVIII w. informuje dzieło Duhamel'a *Geometrie souterraine élémentaire théorique et pratique* z r. 1787. I tam także opisywany jest kompas górniczy i półkole z pionem, w dalszym ciągu wszakże jest mowa o narzędziach, służących do zdejmowania planów kopalń rud żelaznych, w których używanie kompasu z igłą magnesową okazało się niemożliwym. W kopalniach takich zdejmowano plany albo zapomocą dwóch cienkich tarcz mosiężnych, zwanych kołami, i przenośnika, albo też przy użyciu zwykłego grafometru z celownikami. Narzędzi pozwalających mierzyć kąty, jednocześnie na płaszczyznach poziomej i pionowej, nie używano jeszcze przy pomiarach podziemnych.

O narzędziach tych, powstałych przez połączenie poziomego astrolabium lub grafometru z pionowym półkolem, pierwszą wiadomość znajdujemy w dziele Leonarda Digges'a z r. 1571, wydanem powtórnie przez jego syna Tomasza w r. 1593 w Londynie p. t. *Pantometria, a geometrical practical treatise*. Podany tam został rysunek takiego narzędzia, z alidadami czyli prawidłami, zaopatrzonymi w przezierniki do celowania, oraz użytą była po raz pierwszy nazwa *theodolitus*, pochodzenia której nie ustalono dotąd. Oryginalny wywód inżyniera francuskiego Breton de Champ, jakoby wyraz *théodolite* pochodził ze skrócenia angielskich *the alidade*, znajdował jednak zwolenników<sup>1)</sup>. Podczas gdy w Niemczech rozpowszechniał się stół mierniczy Praetoriusa, który zaopatrzony w celownicę ruchomą około osi poziomej, pozwalał zdejmować kąty równocześnie na płaszczyznach, poziomej i pionowej, — w Anglii udoskonalono teodolit, zastępując w nim przezierniki alidady, lunetą ze skrzyżowanymi przy szkle ocznem nitkami, według pomysłu astronoma Gascoigne<sup>2)</sup>. Mechanik angielski, John czy Jonathan Sisson, już w pierwszej połowie XVIII w. wyrabiał teodolity przenośne, nadające się do robót geodezyjnych, a znów Ramsden zbudował w r. 1789, dla obserwatorium w Palermo, wielki teodolit z kołem poziomym trzystopowej, a pionowym pięciostopowej średnicy.

W literaturze miernictwa górniczego, spisanej przez c. k. markszajdra w Příbram Kleszczyńskie-

go<sup>3)</sup> i pomieszczonej w tomie IV Rocznika górniczo-hutniczego szkół austriackich<sup>4)</sup> podana jest wiadomość o trzech narzędziach z końca XVIII w., które uważać można za pierwowzory dzisiejszych teodolitów kopalnianych. Pierwsze z tych narzędzi zbudował w r. 1798 jezuita Paris von Giuliani, astronom w Landshucie, później profesor liceum w Klagenfurcie i dając mu nazwę *Catageolabium*, opisał w wydanej w r. 1799 w Wiedniu broszurze in 4<sup>o</sup>, p. t. „*Verbesserte Markscheidekunst*”. Opis drugiego narzędzia mieści się w broszurze: „*Beschreibung eines neuerfundenen Markscheider Instruments*”, wydanej w Cassel w r. 1800, przez mechanika nadwornego H. C. W. Breithaupta, później profesora gimnazjum w Bückenburgu. W broszurze tej opisana jest najprzód busola, używana przez Breithaupta w r. 1798, do pomiaru kopalni w Riechelsdorfie, a w dalszym ciągu projekt drugiego narzędzia, nazwanego „*Markscheider Instrument mit der Scheibe*”, w którym już igła magnesowa bardzo małe miała zastosowanie. Było to astrolabium, złożone z koła z podziałką i noniuszami, łuku do mierzenia kątów na płaszczyźnie pionowej i rury z dioptrą. W końcu zaznacza Kleszczyński, że także w końcu XVIII w. polski generał Komarzewski<sup>5)</sup> wynalazł grafometr podziemny, wykonywał z nim próby i w trzech językach go opisał.

Wymieniony na ostatnim miejscu wynalazek rodaka naszego był jednak ze wszystkich trzech najważniejszym. We wstępie do okazale wydanej w r. 1803 w Paryżu, po francusku, „*Rozprawy o grafometrze podziemnym, przeznaczonym do zastąpienia busoli w kopalniach*”<sup>6)</sup>, opowiada Komarzew-

<sup>1)</sup> W Bibliografii Estreichera podane są tytuły dwóch rozprawek c. k. Markszajdra Edwarda Kleszczyńskiego: „*Die Mineralspecies und die Pseudomorphosen von Příbram nach ihrem Vorkommen*” (stron 18) i „*Geognostische Skizze der Umgebung von Příbram*” (stron 10), będących odbitkami z *Jahrbuch der K. K. geologischen Reichsanstalt*. 1855.

<sup>2)</sup> *Berg und Hüttenmännischer Jahrbuch der K. K. Montan-Lehranstalt IV Band*, s. 249. Nazwę „*Montan-Lehranstalt*” nosiły szkoły górnicze w Leoben i Příbram od r. 1849 do 1874, w którym przemianowane zostały na „*Berg-Akademien*”.

<sup>3)</sup> Generał Komarzewski, szef królewskiej kancelarii wojkowej, zaufany dworzanin i ulubieniec Stanisława Augusta, używany do rozmaitych misyj poulnych, zmuszony był przez swych przeciwników politycznych do ustąpienia z urzędu w r. 1788. Udał się wtedy do Anglii i zwrócił do pracy naukowej, interesując się zwłaszcza mineralogią i górnictwem. Zwrot ten mógł się opierać na odpowiednim wykształceniu w młodych latach, co by usprawiedliwiało utożsamienie przez Estreichera (Bibliografia, t. II, str. 411; t. XIX, str. 435) Jana Chrzciciela Komarzewskiego, generała, ze wspomnianym w dziejach Akademii Zamojskiej (Fontes et Commentationes, t. I, str. 241; t. VII, str. LVI) Janem Ignacym Komarzewskim, audytorem prawa i geometrii, który w r. 1770 złożył egzamin na geometrę przysięgłego i wydrukował przy tej okazji łaciński panegiryk.

<sup>4)</sup> *Mémoire sur un graphomètre souterrain, destiné à remplacer la boussole dans les mines*, par Mr. de Komarzewski, Ancien Lieutenant-Général du Roi et de la République de Pologne, Chevalier des plusieurs Ordres, Membre de la Société Royale de Londres et de la Société littéraire de Varsovie. Paris. Charles Pougens; Quai Voltaire Nr. 10. An. XI (1803). Wielkie folio (29 cm na 44 cm), kart 2 n.l., str. 16, tablic (58 cm na 44 cm) 2. Egzemplarz, który miałem w rękę, używany był przez Bibliotekę Jagiellońską tutejszej Biblioteki Głównej.

<sup>\*)</sup> Streszczenie odczytu wygłoszonego w Stow. Techn. 15/X 1920 r. przedstawione wydziałowi nauk mat. i przyr. Tow. Nauk Warsz. 2 czerwca 1921 r.

<sup>1)</sup> Por. Dr. Rudolf Wolf, *Handbuch der Astronomie*, Dritter Halbband. Zürich 1899.

<sup>2)</sup> Por. A. Laussedat, *Recherches sur les instruments*, tome I. Paris 1898.

ski, że zwiedzając w r. 1790 kopalnię Cornwall w Anglii, przekonał się o niemożności używania busoli wszędzie, gdzie oprócz żelaza i niklu wiele innych ciał przyciąganych jest przez magnes. Przedtem zaś jeszcze, odwiedzając często astronoma Herschla w jego siedzibie Slough, koło Windsoru i jeżdżąc z nim razem po fabrykach, informował się o narzędziach mierniczych, a zwłaszcza o teodolicie. Herschel, opisawszy mu teodolit, zakomunikował interesujące szczegóły, odnoszące się do pomiarów prowadzonych przez „wynalazcę tego narzędzia” generała Roy’a, przy mierzeniu łuku południka między obserwatorium w Greenwich a Paryżem. Komarzewski, zainteresowany opowiadaniem Herschla, udał się do generała Roy’a dla obejrzenia teodolitu i następnie szukał sposobności zapoznania się z tem narzędziem przy pomiarach. W r. 1791 Ramsden wykończył jedno takie narzędzie dla Kompanji Indyi Wschodnich. Gdy się Kompanja targowała, książę Richemond, podówczas wielki mistrz artylerji, kupił ten teodolit w celu użycia przy zdejmowaniu karty topograficznej Anglii. Inżynierowie, zajmujący się temi zdjęciami, mieli wtedy właśnie powtarzać pomiar podstawy generała Roy’a, koło Hounslow i kilku trójkątów w St. Anna Hill, o czem Komarzewski zawiadomiony został przez Ramsdena. Asystując przy tych operacjach, przemyslił się zaczął „czy nie możnaby zredukować teodolitu do małych wymiarów, tak jak z zegara zrobiono zegarek kieszonkowy”.

W latach 1795 i 1796 zajmował się Komarzewski pomiarami podziemnymi we Freyburgu w Saksonji, prowadzonymi pod kierunkiem profesora Lempego<sup>7)</sup>. Opowiada, że gdy w tych kopalniach, tak umiejętnie i oszczędnie eksploatowanych, Lempe wykonywał z nim pomiary, od czasu do czasu przeszkadzała im busola i rozprawiali nad sposobami jej usunięcia. Lempe pokazywał Komarzewskiemu narzędzie mosiężne, sporządzone przez oficera kopalń elektorskich Krumpla, według zasad jakie on sam podał w swym kursie geometrii podziemnej. Narzędzie to składało się z okrągłej tarczy małej średnicy z dwoma ruchomymi prawidłami i służyć mogło tylko do mierzenia kątów na poziomie, czyli jak mówią górnicy, kątów kierunkowych. Komarzewski znów opisywał Lempemu ustrój teodolitu i pomiary wykonywane w Anglii i streszczał swój pogląd w następujących ośmiu punktach:

1. Wszystkie pomiary geometrii podziemnej sprowadza się do mierzenia kątów kierunków i nachyleń.

2. Przy tych pomiarach otrzymuje się trójkąty prostokątne, a ich przeciwprostokątną stanowi zawsze sznur, na którym zawieszoną jest busola lub półkole z pionem.

3. Obniżanie się sznura pod ciężarem zawieszonego narzędzia jest zbyt wielkie, aby je można było obliczać jak linę łańcuchową i wymaga znacznie dłuższego rachunku.

4. Busola przyjętą została w kopalniach dla braku miejsca, potrzebnego przy użyciu zwykłego grafometru, lub stolika mierniczego.

5. Busola wyznacza kąty przez oddalenie się igły magnesowej od południka, tak jak promień koła oddala się od średnicy.

6. Gdyby można było pomieścić w kopalniach zwykły grafometr, lub stolik mierniczy, narzędzia te tak dobrze zastąpiłyby busolę, jak są przez nią zastępowane.

7. Busola mogłaby być usuniętą z kopalń, gdyby zbudowano narzędzie małych wymiarów, mierzące ściśle kąty kierunków i nachyleń.

8. Ze wszystkich znanych narzędzi, najwięcej się nadaje do przystosowania w tym celu, teodolit generała Roy’a, gdy w nim zastąpione zostaną alidadami lunety, w kopalniach bezużyteczne.

Wywody te przekonały Lempego, który je zakomunikował mechanikowi kopalń elektorskich Studerowi. Komarzewski dał Studerowi tarczę poziomą swego grafometru podróznego, dla dorobienia podziałki godzinowej, takiej jak na kompasie górniczym, tarczy pionowej, alidad i kolana zastosowanego do wymiarów kopalń freiberskich. Narzędzie wkrótce zostało zbudowane, a gdy wykonana z niem przez Lempego, Studera i Komarzewskiego próba w kopalni się powiodła, Komarzewski razem z Lempem robił z niem pomiary w latach 1797 i 1798 i dał mu nazwę grafometru podziemnego. Szczegóły te, podane przez Komarzewskiego w przedmowie do Rozprawy, wydanej w r. 1803, ustalają datę wynalazku na rok 1796, a więc o dwa lata wcześniej od wymienionych przez Kleszczyńskiego narzędzi Giulianiego i Breithaupta.

W Rozprawie, po czterech stronach wstępu, następuje na dwóch stronach krótki opis grafometru, którego rysunki w elewacji, planie i perspektywie mieszczą się na jednej z dwóch wielkich tablic. Następnie na siedmiu stronach objaśnia Komarzewski użycie narzędzia, rozwiązując trzy zadania, mające za przedmiot: zdjęcie planu galerji, zdjęcie planu szybu, oznaczenie punktu na powierzchni, leżącego na pionowej, przechodzącej przez dany punkt wewnątrz kopalni. Figury odnoszące się do tych trzech zadań mieszczą się na drugiej tablicy. W końcu, na trzech stronach, podany jest raport, jaki po rozpatrzeniu wynalazku Komarzewskiego złożyli Akademji umiejętności w Paryżu w r. 1802 trzej znakomici jej członkowie: matematyk Lacroix, generalny inspektor kopalń Duhamel, wspomniany już jako autor Geometrii podziemnej, i również generalny inspektor kopalń, mineralog Gillet-Laumont. Raport ten, uzupełniony szczegółowym opisem grafometru i objaśniony małym rysunkiem elewacji narzędzia, podany był w tomie XIV czasopisma *Journal des Mines* z r. 1803.

Równocześnie z Rozprawą francuską ogłosił Komarzewski w Paryżu opisy swego grafometru po angielsku i niemiecku. Opisów tych nie mieliśmy w ręku. Według Estreichera, podającego ich tytuły, wydane były w równie wielkim formacie, jak Rozprawa francuska, prawdopodobnie więc z temi samymi tablicami rysunków. Egzemplarze trzech rozpraw nadesłane były przez Komarzewskiego Towarzystwu Przyjaciół Nauk w Warszawie.<sup>8)</sup>

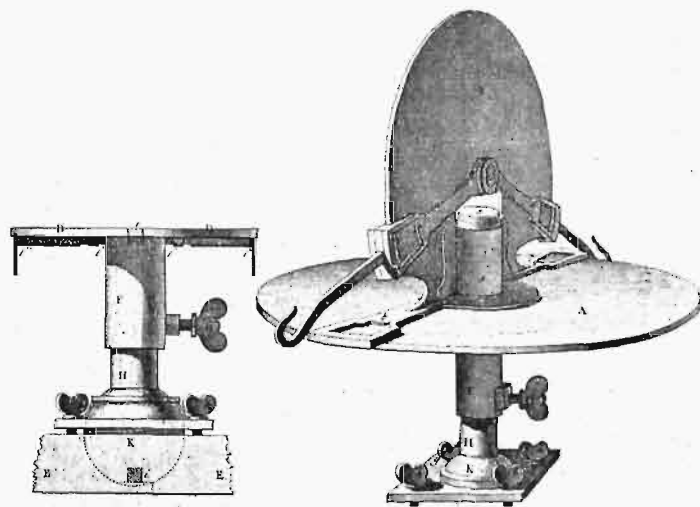
W raporcie złożonym Akademji, uczeni sprawozdawcy podnoszą najprzód zarzuty, jakie w swej rozprawie postawił Komarzewski używaniem w ko-

<sup>7)</sup> Zapewne Joh. Fr. Lempe, autor dzieła „Lehrbegriff der Maschinenlehre mit Rücksicht auf den Bergbau. Leipzig 1795”. Inny Lempe, także Fryderyk, przybył do Polski razem z Jerzym Bogumiłem Puschem, wykładał w szkole górniczej Kieleckiej i był naczelnikiem górnictwa po r. 1830.

<sup>8)</sup> Przedstawione na posiedzeniu 12 lipca 1803 r. Por. Al. Kraushar. Tow. Warsz. Prz. Nauk., t. I, str. 243.

palniach narzędziom z igłą magnesową, stwierdzając jej brak stałości i zbaczanie w pobliżu ciał zawierających żelazo metaliczne. Twierdzą oni, że ta niedogodność, często trudna do zauważenia, gdy skutek jest słaby, przytrafia się częściej niż to zwykle jest uwzględniane; przytaczają doświadczenia Coulomba, świadczące że mało które ciało nie zawiera żelaza, oraz Gillet Laumonta, który próbował 300 kawałków miedzi żółtej, zanim doszedł do niedziałającego na igłę magnesową i to tylko niektórymi swymi częściami; zwracają przytem uwagę, że szkło, nakrywające igłę magnesową, może zostać naelektryzowane, gdy się je wyciera, aby usunąć pył padający w galerjach kopalń, oraz że igła magnesowa przedstawia tę niedogodność, że jej zboczenie ulega zmianom w czasie, co nie pozwala wiązać ze sobą zdjęć, dokonanych w różnych epokach, jeżeli na planie nie był oznaczony kierunek południka. Wspominają wreszcie o kołach podziałkowych, takich jak opisane przez Duhamela, używanych oddawna w Niemczech i we Francji, pozwalających zdejmować kąty bez igły magnesowej, dodając że koła służą tylko dla kierunków i mogą narażać na wiele błędów, jeżeli galerje kopalni nie leżą na jednej płaszczyźnie.

Grafometr Komarzewskiego przedstawiony jest w perspektywie na tabl. 1 jego rozprawy. Obok perspektywy narzędzia narysowaną tam została elewacja kolana na skalę nieco większą. Rysunki te (rys. 1) pozwalają zdać sobie sprawę z ogólnego wyglądu grafometru. Rozpatrzenie szcze-

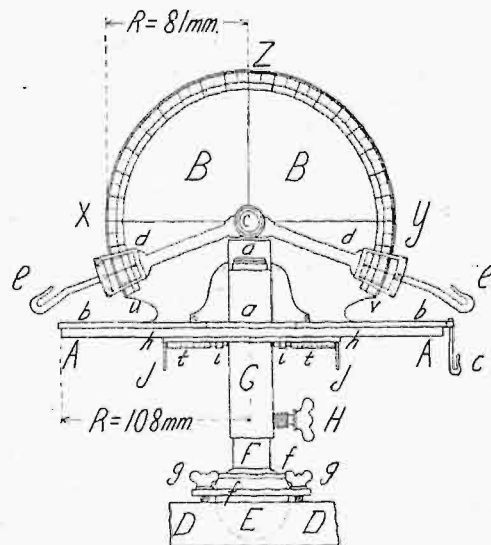


Rys. 1.

głów narzędzia ułatwia mały rysunek schematyczny, dołączony do raportu uczonych francuskich (rys. 2). AA jest to tarcza kołowa, o średnicy 8 cali, z kołem podziałowym, podzielonem na 360°, a każdy stopień na 4-ry ćwierci. Koło to podzielone jest także na godziny, jak kompas górniczy. Przez środek tarczy AA przechodzi sworzень aa, tworzący z tarczą jedną całość. W około sworznia obraca się nasunięty nań walec pusty, do którego spodu przymocowany jest poziomy celownik bb, z okienkami zaopatrzonemi we włosy, służące do odczytywania stopni na podziałce koła. Haczyk c, na jednym końcu celownika służy do zawieszania pionu. Do celownika i walca otaczającego sworzень pionowy, przymocowaną jest tarcza pionowa BB,

o średnicy 6 cali, zaopatrzona na swym obwodzie w podziałkę taką, że części okręgu  $xz$  i  $yz$ , podzielone są każda, zaczynając od średnicy poziomej, na 90°. Części okręgu  $xu$  i  $yv$ , położone pod średnicą poziomą, obejmują każda 30°. Wokoło środka C tarczy BB, obracają się dwa celowniki dd, z okienkami takimi jak celownica bb, zaopatrzone w haczyki ee do przywiązywania sznurków, przeciąganych wzdłuż zdejmowanych kierunków. Komarzewski zalecał w tym celu, jako najodpowiedniejsze, sznurki konopne, dobrze skręcone.

Grafometr ustawiano na desce DD, 18 cali długiej, 6 cali szerokiej, 1 cal grubej, mającej na obu końcach otwory, dla przepuszczania śrub, przymocowujących deskę do belek w galerjach kopalń. Nastawa kulkowa składała się z kulki mosiężnej E, odlanej razem ze sworzniem F, wchodzącej w wyżłobienie, zrobione w desce DD. Płyta kwadratowa ff, pustym odcinkiem sferycznym obejmuje kulkę E i służy do utrzymywania jej w odpowiednim położeniu za pośrednictwem śrub gg, które przytwierdzają płytę ff do deski D. Walec pusty G, otaczający sworzень F, utrzymywany jest w stałym położeniu przez dokręcenie śruby H. Z walcem G stanowi jedną całość płyta hh, na której ustawia się grafometr. Dwa uszka ii, odlane razem z tarczą AA grafometru, wchodzą w dwa otwory płyty hh. Przez te uszka przechodzą zasuwki jj, ruchome w pochewkach tt, przylutowanych do płyty hh. Zasuwki te utrzymują tarczę AA nieruchomo na płycie hh.



Rys. 2.

Rozpoczynając pomiar z grafometrem od pewnego znanego kierunku, określonego zapomocą kompasu górniczego lub, co lepiej, związanego z południkiem, przechodzącym przez jeden z szybów głównych kopalni, można z łatwością zdejmować plany, potrzebne dla robót kopalnianych, nie posługując się igłą magnesową i mierzyć jednocześnie wszystkie kierunki i nachylenia. Po zmierzeniu wszystkich kątów i długości linii, pozostaje tylko obliczenie trójkątów prostokątnych, których trzy elementy są znane.

Lacroix, Duhamel i Gillet-Laumont wyrazili swą opinię o wynalazku w tych słowach: „Grafometr podziemny (narzędzie zbudowane na tych samych mniej więcej zasadach co i teodolit) pro-



ponowany przez p. Komarzewskiego, dobrze zbudowany i doprowadzony do możliwego stopnia doskonałości, zastąpił z korzyścią dawne narzędzia, używane w kopalniach, nie przedstawiając ich niedostatków i pożądanym jest aby został wykonany przez mechaników francuskich i wprowadzony do naszych kopalń.

Ale nie tylko pomysł naszego rodaka oczekiwał wtedy swego urzeczywistnienia we Francji. Rada górnicza francuska zamierzała już dawniej usunąć busolę z kopalń, pomimo wielkiej dogodności, jaką przedstawia, pozwalając wyznaczać każdy kierunek, bez odnoszenia się do pomiarów poprzednich; nie przystępowano wszakże do wykonania projektu grafometru inżynierów francuskich, uznanego przez radę za odpowiedni. Uwagę ogólną coraz więcej zwracał na siebie teodolit, który wtedy, głównie dzięki pracom Reichenbacha w Monachium, przekształcał się w coraz poręczniejsze narzędzie geodezyjne. Pojawiać się też zaczynały powoli teodolity w kopalniach, a w r. 1836 budował już specjalne teodolity kopalniane mechanik F. W. Breithaupt w Kassel. Podobne narzędzie, z lunetą ekscentryczną, opisywał w tymże roku Combes w *Annales des Mines*.

Zasługą Komarzewskiego było przystosowanie

do potrzeb kopalnianych pierwotnego teodolitu, takiego jak opisany w r. 1571 przez Digges'a<sup>9)</sup>. W grafometrze podziemnym zastąpione zostało półkole pionowe tego teodolitu, tarczą o obwodzie 240°, pozwalającą mierzyć nachylenie do 30° pod poziomem. Zamiast celowników, jak w teodolicie, alidady tarczy pionowej grafometru mają na końcach haczyki, służące do przywiązywania sznurów, przeciąganych wzdłuż zdejmowanych kierunków. Sznury takie używane bywają zawsze przy zdejmowaniu planów kopalń zapomocą dawnych narzędzi z igłą magnesową. Zawieszają się na nich półkole z pionem i kompas górniczy, albo kombinację obu tych narzędzi, tworzącą tak zwany „zawiesznik sztygara”. Sznury są zbyteczne, przy zdejmowaniu planów teodolitem kopalnianym z sygnałami świetlnymi, gdyż wtedy kierunki wyznacza luneta teodolitu.

Grafometr podziemny Komarzewskiego, używany przez wynalazcę od r. 1796 w kopalniach freiberskich, był więc, jak świadczy literatura markszajderska, zebrana przez Kleszczyńskiego, pierwszym zwiastunem używanych do dziś teodolitów kopalnianych i rodakowi naszemu należy się zaszczytna wzmianka w dziejach rozwoju narzędzi, używanych przy pomiarach kopalń.

## PRZEGLĄD PISM TECHNICZNYCH.

### HYDRAULIKA.

#### Sprawność przewodów kanalizacyjnych o przekroju kołowym.<sup>1)</sup>

Przy obliczaniu przekrojów przewodów kanalizacji miejskiej, dotychczas używa się zwykle skróconego wzoru Kuttera, powstałego w 1869 r.,

$$v = k \sqrt{R \cdot I} = \frac{100 R}{b + \sqrt{R}} \sqrt{R \cdot I},$$

gdzie  $v$  — prędkość odpływu,  $R$  — promień hydrauliczny,  $I$  — spadek jednostkowy,  $b$  — współczynnik szorstkości. Wartość  $b$  waha się od 0,27 do 0,45. Ganzmer (Hand. d. r. Ingenieurwissenschaften, 1924 r.) podaje na podstawie wielokrotnych doświadczeń, że bez względu na materiał należy przyjmować  $b=0,35$ . Tyczy się to i gładkich rur kamionkowych, ponieważ po większej części są one niezupełnie okrągłe w przekroju i z tego powodu przedstawiają dodatkowy opór odpływu wody, a oprócz tego nie można wyników doświadczeń z czystą wodą, w nowych kanałach, stosować do starych kanałów, odprowadzających wodę brudną.

Teoretycznie najodpowiedniejszym przekrojem przewodu, ułożonego z pewnym spadkiem, dla przewodów otwartych, będzie połowa koła, dla przewodów przykrytych — pełne koło, gdyż przy pełnych ich napełnieniach ich promień hydrauliczny będzie większy od promienia hydraulicznego innych przekrojów o tych samych polach. Ponieważ przez kanały miejskie często odprowadza się małe ilości ścieków, a przy słabych spadkach należy się starać otrzymać możliwie dużą głębokość, ażeby uniknąć osadzenia się zawieszin, to wypadło odstępować od przekroju kołowego i przez przekrój owalny dojść do przekroju „rynny katowej”. Oprócz znacznie większej głębokości spływu, rynna katowa posiada tę zaletę, że na jej bardziej stromych ścianach tworzy się mniejszy osad. Ganzmer wskazuje dalej, że rynny katowe, przy odprowadzaniu jednakowej ilości ścieków, wymagają

znacznie mniejszego spadku, ażeby otrzymać należytą prędkość, niż kanały owalne. Pierwszeństwo rynien pod tym względem jest niewątpliwe.

W każdym razie, używając do obliczenia przekrojów przewodów otwartych wzoru Kuttera, spotykamy się z uciążliwym wyznaczaniem współczynnika szorstkości  $k$ . Wielu praktyków i teoretyków wypowiedziało się przeciwko używaniu wzoru Kuttera. Powstały inne wzory, otrzymujące postać ogólną  $v = K \cdot R^b \cdot I^c$ , gdzie  $K$  jest pewną liczbą stałą.

Fromm znalazł, że  $b = 0,66$  i  $c = 0,5$ , zaś Forchheimer przyjmuje  $b = 0,7$  i  $c = 0,5$ , t. j.  $v = K \cdot R^{0,7} \cdot I^{0,5}$ , gdzie  $K$  zależne jest od materiału, np.:

dla starych przewodów z rur pojedynczych	$K =$	76
„ nowych		85
„ rur jednolitych (ubijanych)		88
„ „ (wygładzanych)		100
„ chropowatego betonu	60,4 —	71,9
„ gładkiego		92
„ nadgryzionego betonu		50

Wzór Forchheimera ma wielu zwolenników, jako prosty, dający się zastosować do rozmaitych profili, nie posiadający zmiennego i zależnego od wymiarów współczynnika szorstkości, a zawierający go tylko w zależności od materiału, i wogóle uważają, że stosowanie tego wzoru wymaga 4—5 razy mniej czasu, niż posilkowanie się wzorem Kuttera.

Znacznie wcześniej, gdyż już przed 1880 r., W. H. Liddley, przy opracowywaniu projektów kanalizacji miast, zaczął używać wzoru,

$$I = K \cdot \frac{v^{1,8}}{R^{1,25}},$$

w którym dla kanałów murowanych z cegieł gładkich prasowanych i kanałów betonowych wygładzanych przyjmował  $K=0,00025$ . Wzór ten można wyrazić:

$$v = 100 R^{0,7} \cdot I^{0,555},$$

a więc zewnętrznie mało się on różni od niedawno powsta-

<sup>1)</sup> Porówn. Dr.-Inż. F. Bülow: „Die Leistungsfähigkeit von Fluss-, Bach-, Werkkanal- und Rohrquerschnitten...”, Ges.-Ingenieur, 1927, Nr. 14 i 15.

<sup>9)</sup> Rysunek teodolitu z tego dzieła podał A. Laussedat w tomie I swoich *Recherches sur les instruments*, na str. 101.