

R O Z D Z I A Ł XVI.

FUNDAMENTOWANIE POD SPRĘŻONEM POWIETRZEM.

1. Dane ogólne.

Jakośmy ostatnio zaznaczyli, bywają takie warunki gruntowe, przy których nie tylko żaden z rozpatrzonych sposobów się nie nadaje, ale nawet studni zastosować nie można. Najogólniej dają się one ująć jak następuje: jeżeli mamy szereg warstw słabych gruntów, nie nadających się do posadowienia budowli nawet przy uszczelnieniu ich palami, jeżeli grunty te są poprzedzielane warstwami gruntów zwartych, niedostatecznymi, by na nich można było oprzeć budowlę, jeżeli grunty zawierają głazy, pnie i kłose drzewne, studzien stosować nie można, a należy uciec się do fundamentowania pneumatycznego, czyli przy pomocy kesonów.

Kesonem / rys. 126 / nazywa się odwrócona do góry dnem skrzynia, z pod której usuwają grunt pracujący w niej ludzie / rys. 128 /. Bardzo często kesonem również nazywamy cały zespół urządzeń, służących

do posadowienia tym sposobem. Skrzynia opiera się dolnym brzegiem swych ścian na gruncie. Przestrzeń, którą ona obejmuje, nazywamy komorą lub izbą roboczą kesonu. W miarę wybierania gruntu keson opuszcza się aż do osiągnięcia tego pokładu gruntu, na którym zamierzone jest posadowienie budowli. Dla komunikacji ze światem zewnętrznym służą pionowe szyby i szluzy, stanowiące przejście od powietrza sprężonego, wypełniającego keson, do powietrza o ciśnieniu normalnem. Szyby i szluzy służą tak dla ludzi, jak dla materiałów, a w szczególności dla wybieranego z pod kesonu gruntu. Przez wtłaczanie powietrza do kesonu utrzymujemy w nim ciśnienie, równoważące ciśnienie otaczającej go wody. Pozwalamy przez to przebywać ludziom w komorze roboczej. Na stropie kesonu wznosimy fundament, baczac, by poziom muru był zawsze wyżej od poziomu otaczającej budowlę wody. Po osiągnięciu zamierzonej głębokości komorę roboczą wypełniamy murem, szyby zaś i szluzy usuwamy.

Znaczenie i działanie szluzy widzimy na schemacie obok. Na szybie - A - mieści się nadbudówka - B - łącząca się ze światem zewnętrznym przez szluzę - C -

Przejście z komory B do szluzy C stanowią drzwi

- D -, otwierające się

do środka komory B . Wyj-

ście ze szluzy C na po-

wietrze zewnętrzne mamy

przez drzwi E , otwiera-

jące się do środka szlu-

zy C . Prócz tego połąc-

zenie między komorą a

szluzą stanowi kurek po-

wietrzny - K - między

szluzą i powietrzem o ciś-

nieniu atmosferycznym - kurek powietrzny - K_1 . W

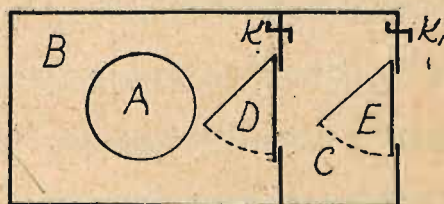
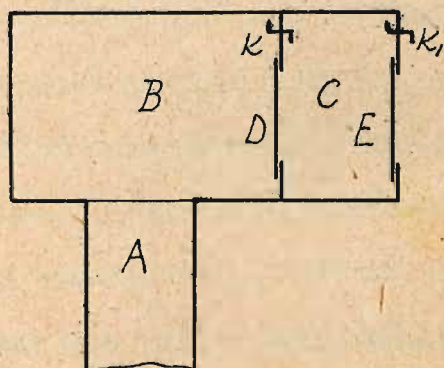
stanie roboczym mamy powietrze sprężone w szybie,

komorze i szluzie, drzwi D i E są zamknięte, ku-

rek - K - otwarty, kurek K_1 zamknięty. Sprężone po-

wietrze w szluzie C przyciska drzwi E nie pozwala-

jąc im się otworzyć.



Jeżeli w tym stanie rzeczy chcemy wyjść z keso-
nu na zewnątrz, otwieramy drzwi D , przechodzimy do

szluzy C , zamykamy drzwi D , zamykamy kurek K i

otwieramy kurek K_1 . Powietrze sprężone ucieka prze-

zeń ze szluzy C , dzięki czemu ciśnienie w niej spa-

da do atmosferycznego. Różnica ciśnień sprawia że powietrze w komorze B przyciska drzwi D , nie dając im się otworzyć. Drzwi E otwieramy swobodnie dzięki wyrównaniu ciśnienia w szluzie z powietrzem zewnętrznym. Jeżeli teraz chcemy wejść z powrotem do kesonu, przerabiamy te same manipulacje, w porządku odwrotnym. A więc wchodzimy do szluzy przez drzwi E , które za sobą zamykamy. Zamykamy kurek K_1 a otwieramy kurek K . Dzięki temu sprężone powietrze wchodzi z komory B do szluzy C , ciśnienie się między nimi wyrównuje, - przyciskając drzwi E i zwalniając z ucisku drzwi D , które otwieramy i przechodzimy do komory B , a z niej przez szyb A spuszczaemy się do komory roboczej kesonu.

Jeżeli chcemy wejść z zewnątrz do kesonu, gdy szluz jest w stanie roboczym, opisanym poprzednio, to musimy najprzód zamknąć kurek K , a potem otworzyć kurek K_1 , obniżając tem ciśnienie w szluzie do atmosferycznego; otwieramy wtedy drzwi E i wchodzimy do szluzy, poczem przerabiamy manipulacje, wyszczególnione przy opisie wchodzenia do kesonu.

Dzięki zastosowaniu szluzy mamy połączenie ze

światem, pozwalające nam jednak utrzymywać stale ciśnienie sprężonego powietrza w szybie i w komorze roboczej kesonu. A sprężone powietrze, stanowiące istotną część pneumatycznego sposobu fundamentowania pozwala na wykonanie robót na sucho, niezależnie od wielkości dopływu wody.

Z przytoczonych powodów keson daje się zastosować przy wszelkiego rodzaju warunkach gruntowych i nie obawia się tych przeszkód, które nie pozwalają na stosowanie innych sposobów wykonania fundamentów.

Zanim jednak kesony osiągnęły swój obecny rozwój i rozpowszechnienie, przeszły one szereg przeobrażeń, które tu pokrótce omówimy.

2. Historyczny rozwój pracy pod sprężonym powietrzem.

W roku 1656, za panowania cesarza Karola V, na rzece Gwadalquivirze opuszczono poraz pierwszy dzwon, w którym znajdowali się ludzie. W miarę zagłębiania się dzwonu, powietrze pod ciśnieniem słupa otaczającej dzwon wody sprężało się i zmniejszało w objętości, a woda od dołu przenika-

ła do dzwonu. Mała objętość powietrza nie pozwalała na dłuższe przebywanie ludzi w dzwonie / rys. 121/.

Następnie anglik Halley zbudował dzwon, do którego dołączył beczkę ze sprężonym powietrzem, mającą zasilać dzwon, co pozwalało już na dłuższe przebywanie ludzi pod wodą.

Dopiero w roku 1798 francuzi Coulomb i Cavé wynaleźli łódź do robót podwodnych / rys. 122 /. Jak widać z tego rysunku, na łodzi umieszczona była komora ze szluzą, odpowiadająca w zupełności schematowi, opisanemu powyżej. Pod komorą w dno łodzi wstawiona była rura, pozwalająca zejść z komory bezpośrednio do wody. W rurę tę wstawiona była druga ruchoma rura, teleskopowa, którą można było opuszczać na dno rzeki i która przedstawiała jednocześnie szyb i komorę roboczą. Przez pompowanie sprężonego powietrza do całej tej instalacji, można było wypędzić wodę z rury szybu, zejść przez nią na dno rzeki i prowadzić robotę, oczywiście w granicach, zakreślonych szczupłością miejsca.

Właściwie więc zasada pracy pod sprężonym powietrzem już była odkryta, jednak do roku 1840 nie było zmian i postępów w stosowaniu tego sposobu.

W roku 1843 anglik Pott wynalazł sposób zapuszczania rur żelaznych przez rozrzedzanie w nich powietrza. Zamkniętą z góry rurę łączył on przewodami z wielkimi kotłami zawierającymi powietrze rozrzedzone. Otwarcie kurka wywoływało raptowne rozrzedzenie powietrza w rurze, która pod ciśnieniem atmosfery zapadała się w grunt. Sposób ten stosowano kilkakrotnie dla rur o niewielkich średnicach do trzech czwartych metra. W roku 1849 użyto go dla zapuszczania rury o średnicy przeszło dwóch metrów przy posadowieniu filara mostowego. Jednak napotkane w gruncie kłody drzewa i głazy zmusiły do zaniechania go i do zastosowania sposobu, stanowiącego wynalazek inż. Triger'a.

W roku 1845 francuski inżynier górnik Triger ogłosił pracę, w której znajdujemy opis urządzenia, zastosowanego przezeń przy budowie szybu w kopalni węgla. Budując szyb Triger natrafił na pokład wodonośny, którego nie udawało się przejść zwykłym sposobem. Pokład ten zagłębiony był na 20 metrów. Próby przepychania żelaznego cylindra przez ten pokład nie udawały się. Wtedy Triger dał w tym cylindrze / o

średnicy 1,85 m / dwie przegrody poziome / rys. 125 / z drzwiczkami, dzieląc ten cylinder na trzy części. Dolna część *A* służyła za komorę roboczą, do której przez rurę *E* dostarczano powietrze sprężone. Środkowa część - *B* - stanowiła szluzę, która łączyła się drzwiczkami dolnej przegrody z komorą *A*, górnej zaś z częścią *C*, stanowiącą szyb. Wskazana na rysunku kadź - *D* - służyła do usuwania z komory roboczej gruntu, wydobytego przy zapuszczaniu cylindra. Stosując ten sposób Trigger przeszedł warstwę wodonośną i wgłębił się w glinę, gdzie już wody nie było i pracę można było wykonywać dalej zwykłym sposobem.

Wynalazek Trigger'a wyparł z użycia sposób Potta przy zapuszczaniu rur do robót fundamentowych. Anglicy sposób ten ulepszyli, umieszczając dwie szluzy u górnego wylotu rury. Sposób ten jednak nie znalazł wielkiego rozpowszechnienia, gdyż napotykaną na znaczne trudności przy zapuszczaniu. Ponieważ rury w stosunku do oporu tarcia o grunt były lekkie, trzeba je było obciążać z góry, to zaś utrudniało ich zapuszczanie, bowiem środek ciężkości znajdował się za wysoko.

Zasadnicze ulepszenie przy zapuszczaniu rur wprowadził anglik Brunel przy posadowieniu filara mostu na rzece Tamar. Mając do pokonania 21 metr. wody, pod którą leżała 6 - metrowa warstwa namułu na popękanej skale, wybudował on bęben żelazny o średnicy około jedenastu metrów, którego dolna krawędź była ściśle dostosowana i ucięta do profilu skały pod namulem. / rys. 127 /. Ponieważ wypełnienie tak olbrzymiej przestrzeni sprężonym powietrzem następczało wiele trudności, ponieważ zaś z drugiej strony utrzymanie w wodzie takiego zbiornika z powietrzem wymagało znacznego obciążenia, podzielił Brunel bęben na dwa przedziały żelaznem sklepieniem. Dolny, przeznaczony do wykonywania robót połączony był z szybem, który wychodził ponad poziom wody, górny zaś został zapełniony wodą, która w ten sposób przedstawiała obciążenie. Dolny przedział przedzielony był drugim współśrodkowym bębniem na dwie części: zewnętrzną - pierścieniową, z której w górę prowadził mniejszy szyb, mieszczący się w pierwszym i zamknięty u góry szluzą, oraz wewnętrzną - otwartą i połączoną z pier-

wszym szybem. Pierścieniowa część była poprzedzielana poprzecznymi ściankami dla wzmocnienia. W ten sposób rura wykonana została na brzegu i spławiona do miejsca przeznaczenia. Tu przez obciążenie górnego przedziału wodą bęben został postawiony na dnie. Stosując sposób pneumatyczny wybrano muł z zewnętrznego pierścienia dolnego przedziału. Dzięki temu bęben cały stanął na skale, poczem wypełniono pierścień murem. Odpompowanie wody ze środkowej części dolnego przedziału nie dało się wykonać, gdyż woda nachodziła z dołu przez popękaną skalę. Zamknięto tedy większy szyb szluzą i pod sprężonym powietrzem wybrano ze środkowej części muł i wypełniono ją murem.

Jak widać z tego opisu Brunel wynalazł sposób zapuszczania komory roboczej, obciążonej z góry i połączonej przez wąski szyb z poziomem, położonym ponad lustrem wody.

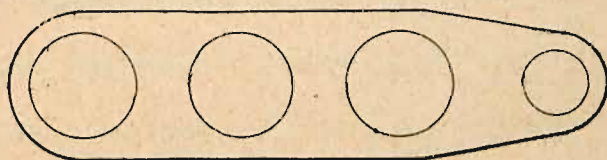
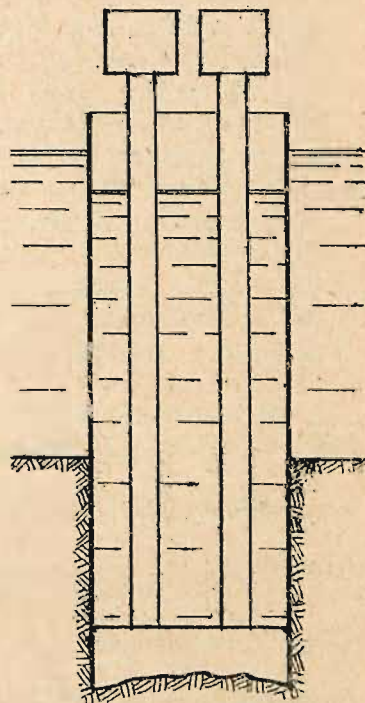
Dalszy rozwój tego sposobu zawdzięczamy francuskiemu inżynierowi Cézanne. Stosował on rury żelazne o średnicy 6 m., przedzielone poziomym stropem na dwie części: dolną, która stanowiła komorę

roboczą, i górną, która służyła do obciążania wodą.

Komora robocza miała dwa szyby, zamknięte szluzami. Była to już poważnie opracowana metoda stosowania sprężonego powietrza do zapuszczania studzien pod opory mostowe. Pierwszy most na takich studniach został zbudowany przez Cèzanne'a w roku 1857.

Drugi most stanął przez Niemen pod Kownem, trzeci również przez Niemen pod Grodnem. Cèzanne'a

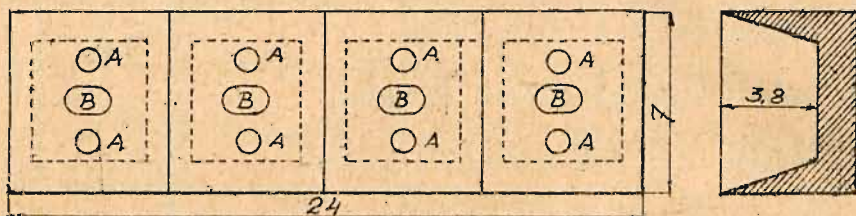
zaangażował inż. Kierbedź jako rzeczoznawcę dla posadowienia mostu przez Wisłę pod Warszawą / 1859 - 1864 /. Każdy filar tego mostu stoi na trzech takich studniach, izbica zaś na czwartej. Filar stoi



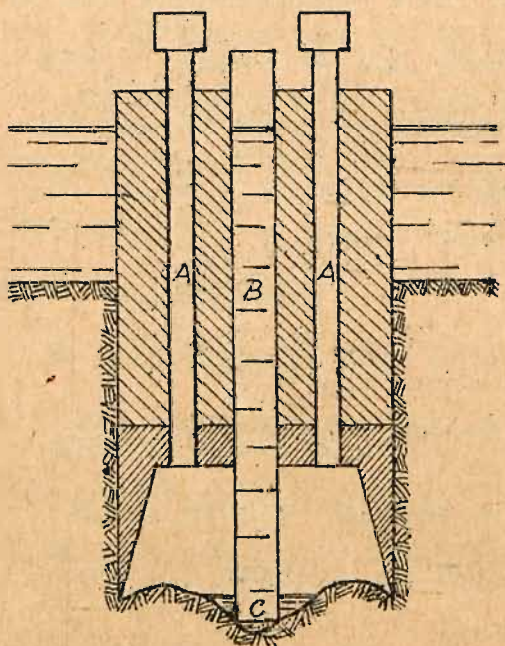
trochę jak na szesudłach, bowiem studnie związane są ze sobą dopiero górną, a wspólny środek ciężkości umieszczony jest wysoko, jednak stanowi on przykład

ogromnego postępu w stosunku do poprzednio stosowanych sposobów fundamentowania pneumatycznego.

W roku 1859 francuski inż. Fleur Saint Denis przy pomocy przedsiębiorcy Castora zaprojektował dla mostu na Renie pod Kolonją skrzynię, składającą się z czterech niezależnych, pod względem pracy, części. Każda część przedstawiała żelazną skrzynię o wymiarach w planie 6 x 7 m. i wysokości 3,8 m.



każda z nich miała trzy szyby, z których dwa zew-



netrzne A, przeznaczone dla ludzi, zamknięte były u góry szluzami, środkowy zaś B, odkryty, sięgał poniżej poziomu noża skrzyni i służył do usuwania gruntu. W tym celu był on zaopatrzony w bagrownię, która w

środku podstawy skrzyni wybierała w gruncie dół C, do którego ludzie, pracujący w komorze roboczej, zsuwali ziemię z całej powierzchni podstawy. Wszystkie cztery skrzynie były ze sobą połączone bolcami w jedną całość, którą zapuszczano jednocześnie. Dla obciążenia wznoszono mur fundamentu wprost na skrzyni. Całość została zawieszona przy pomocy łańcuchów na specjalnem rusztowaniu.

Skrzynię swoją inż. Fleur Saint Denis nazwał kesonem / caisson /, stąd też pochodzi nazwa, która się utrzymała dla tego sposobu zapuszczania fundamentów.

Słabe miejsce tego kesonu przedstawiały środkowe szyby do usuwania gruntu. Ponieważ one były odkryte u góry i powietrza sprężonego nie miały, woda w nich stała na poziomie wody, otaczającej keson. Znajdujące się w szybach bagrownice podnosiły grunt i zamulały wodę, która przez to stawała się cięższą, a poziom jej w szybie opadał. W razie przerwy w bagrowaniu cząsteczki, zamulające wodę, opadały na dół, ciężar właściwy wody zmniejszał się, co groziło niebezpieczeństwem przerwania zamknięcia wodnego w dole rury i ucieczki powietrza z kesonu. Wypadek taki miał

miejsce, wprowadzie nie z kesonami Fleur Saint Denis, lecz w Ameryce, gdzie tego rodzaju sposób wydobywania gruntu bywa często stosowany, jako dający możliwość usuwania ziemi z kesonu bez szluzowania. Na szczęście wypadek ten zdarzył się w czasie przerwy w robocie, gdy ludzi w kesonie nie było.

Pierwszy keson Fleur Saint Denis opuszczano 85 dni, drugi 34 dni, trzeci - 26 dni, wreszcie czwarty 22 dni. Widzimy stąd, jak w miarę wzrostu wprawy, malał czas, potrzebny do opuszczenia. Przeciętna szybkość opuszczania wynosiła 8 cm. na godzinę.

Podział skrzyni roboczej na cztery części zrobiony był w mniemaniu, że trzeba będzie je rozdzielić i opuszczać niezależnie. Otwory przełączowe między sąsiednimi skrzyniami były początkowo zamknięte. Gdy się jednak okazało, że całość dość równomiernie daje się opuszczać, otwory te pozostawiono otwarte. Z drugiej strony zmniejszono ilość szybów roboczych, gdy zauważono, że bagrowanie idzie prędzej, niż murowanie na górze.

To też ostatnim etapem w rozwoju kesonu było usunięcie ścian przedziałowych i budowa jednej skrzyni roboczej, mającej tylko tyle szybów, ile tego

szybkość opuszczania wymaga.

3. Nurkowie.

Przy omawianiu pracy w powietrzu sprężonym, należy wspomnieć o nurkach. Jak wiadomo, człowiek zanurzony w wodzie, przebywać w niej może tylko bardzo krótko, a to z braku powietrza do oddychania. Pomysłowość ludzka skierowała się ku wynalezieniu sposobu, któryby pozwolił człowiekowi przebywać pod wodą czas dłuższy, bez szkody dla zdrowia.

Pierwszy przyrząd dla nurka wynalazł Leonardo da Vinci. Było to ubranie z blachy, które miało połączenia ze skóry na przegubach i w pachwinach. Ubranie to było połączone z rurką, która wychodziła ponad poziom wody. By nurek mógł się pionowo opuszczać na dno, miał on przywiązane do nóg ciężkie kule. Urządzenie to jednak było niewystarczające, gdyż rurka sięgająca ponad poziom wody służyła jednocześnie do odprowadzania powietrza zepsutego i do doprowadzania świeżego.

W roku 1850 Cabirot wynalazł skafander / rys. 123 /, przyrząd, pozwalający na dłuższe przebywanie w wodzie. Główne jego części obecnie są następujące:

1/ ubranie nieprzemakalne z nagumowanego materiału i gumy, 2/ metalowy hełm, do którego hermetycznie przyśrubowujemy metalową obręcz, połączoną z powyższym ubraniem, 3/ gumowe buty, obciążone ołowianymi podeszwami, 4/ ołowiane płyty, zawieszane na piersiach i plecach nurka, 5/ gumowa rura, doprowadzająca do hełmu powietrze od pompy pneumatycznej, 6/ przewody sygnalizacyjne, przewody dla prądu do lampki elektrycznej, telefoniczne i t.p., 7/ sznur do spuszczenia i wyciągania nurka z wody.

Hełm ma kilka otworów, zasłoniętych szybami, które zabezpiecza siatka metalowa / rys. 124 /. Powietrze nie dostaje się do hełma wprost z rury gumowej, lecz przechodzi przez zbiornik, który wygładza fale powietrzne, pochodzące od nierównomiernej pracy pompy.

W miarę opuszczania się poniżej lustra wody na nurka zaczyna oddziaływać ciśnienie, które wywiera woda bezpośrednio przez sprężyste ubranie, na całą powierzchnię jego ciała, z wyjątkiem głowy. Ponieważ ciśnienie to wzrasta o jedną atmosferę na każde 10 metrów zagłębienia, byłoby ono nie do zniesienia

dla organizmu, gdyby nie powietrze, które wpompowuje się nie tylko do hełmu ale i do ubrania w skafandrze. Powietrze to, przenikając do ciała nurka, wyrównuje ciśnienie wewnętrzne z wywieranem zewnątrz, dzięki czemu nurek nie zostaje zgnieciony przez wodę.

Normalne ciśnienie, do którego organizm ludzki się przyzwyczał, wynosi jedną atmosferę/na powierzchni ziemi/. Przy zanurzaniu w wodzie człowiek podlega nadciśnieniu, które bez niebezpieczeństwa dla życia może wzrosnąć do 4 atmosfer. Wielkość ta ogranicza głębokość zanurzenia do 40 m. Zdarza się, że nurkowie zapuszczają się głębiej, są to jednak wypadki wyjątkowe. Na Czarnym Morzu w 1909 roku przy podnoszeniu zatopionej łodzi podwodnej nurek opuścił się do 68 m.

W 1924 roku firma Neufeldt i Kuhnke zbudowała przyrząd, pozwalający opuścić się na 160 m. Próba wykonana z tym przyrządem miała wykazać, że nurek, przebywszy na tej głębokości w ciągu 20 minut, nie ucierpiał bynajmniej na zdrowiu, a przyrząd ciśnienia wody wytrzymać miał doskonale. Przyrząd ten

przedstawia cylinder z blachy stalowej z czterema takimiż odgałęzieniami, mającemi szereg przegubów dla rąk i nóg. Nurek znajduje się w nim pod ciśnieniem 4 atmosfer. Przyrząd ten, zaopatrzony w szereg aparatów, jest właściwie pancerzem podwodnym i jest stale udoskonalany.

Jakie znaczenie praktyczne mogą mieć nurkowie dla budownictwa, w szczególności dla fundamentowania podwodnego? Odpowiedź na to pytanie będzie raczej negatywna.

Człowiek, zanurzony w wodzie, ma bardzo utrudnione ruchy, woda bowiem przedstawia znaczny opór i ruchy w niej należy wykonywać zupełnie inaczej, niż na powietrzu. Żadne szybkie ruchy wykonywać się nie dają, a skafander, zwiększający objętość zanurzonego ciała, znacznie je utrudnia. Połączenie zaś ze światem nadwodnym przez rurkę powietrzną i linę do wyciągania ogranicza ich zakres. Ponieważ wreszcie organizm ludzki nie może być narażony na raptowne zmiany ciśnienia, tak zanurzanie jak i wynurzanie może się odbywać tylko stopniowo, mniej więcej z szybkością 2 do 3 metrów na minutę, a przy większych głębokościach / ponad 15 m. / jeszcze wol-

niej. Z tego widzimy, że praktyczna wartość nurków przy wznoszeniu budowli jest mała. Mogą oni mieć znaczenie tylko, przy określaniu powierzchni dna, badaniu przeszkód, na które natrafiono, uszkodzeń podwodnych, lub w innych poszczególnych wypadkach. Do wykonywania masowych robót podwodnych nurkowie się nie nadają.

