

## R O Z D Z I A Ł X.

### FUNDAMENTOWANIE PODWODNE. GRODZE.

Jeżeli miejsce, na którem ma stanąć budowla, pokryte jest wodą, lub chwilowo podlega zalaniu, to zwykłe sposoby wykonania fundamentów, używane na lądzie, nie mogą mieć zastosowania, staje bowiem temu na przeszkodzie obecność wody. Wypadki takie spotykają się najczęściej przy budowlach inżynierskich rzecznych: mosty, jazy, tamy, szluzy i tp. i morskich nabrzeża, mola i falochrony. By móc wznieść budowlę, a przede wszystkim założyć pod nią fundament, nieodzowne jest uniezależnienie się od wpływu wody. Wiedza inżynierska rozporządza całym szeregiem sposobów, dających możliwość osiągnięcia tej niezależności lub też zużytkowania obecności wody na swoją korzyść. O tych właśnie sposobach będzie mowa poniżej.

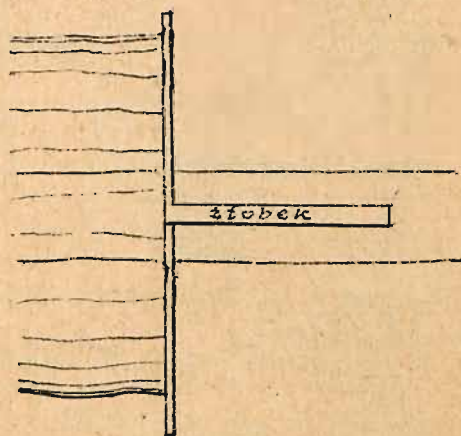
#### 1. Dane ogólne.

Grodzą nazywamy wodoszczelne ogrodzenie, pod osłoną którego możemy na sucho założyć fundament

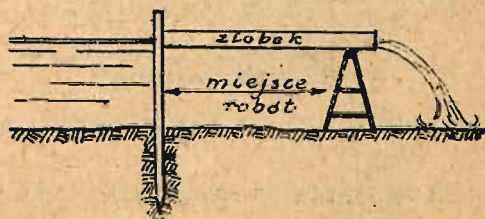
i wybudować podwodną, czyli znajdującą się poniżej lustra wody, część budowli.

Jeżeli miejsce budowli wypada w łożysku małego strumienia, to można przy pomocy ścianki wodoszczelnej przegrodzić strumień. Ze strony górnej woda się spiętrzy przed ścianką, pozwoli to jednak z dolnej strony wykonać roboty na sucho.

Ponieważ jednak od strony spiętrzenia woda będzie napływać, poziom jej może wznieść się ponad górną krawędź ścian-



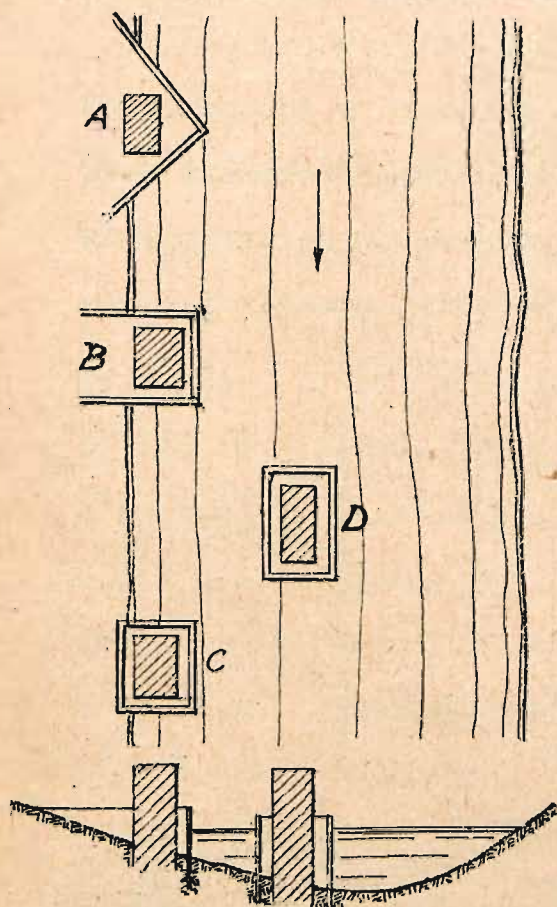
ki i zalać odgrodzone miejsce budowy. Dla uniknięcia tego w górnej części ścianki, nieco poniżej przewidywanego poziomu spiętrzenia, robimy otwór, do którego wstawiamy żłobek, którym odprowadzamy napływającą wodę poza granicę wykonywanych robót.



Jeżeli musimy postawić fundament przy brzegu rzeki, w miejscu całkowicie lub częściowo pokry-



tem wodą, to od niej możemy się odgrodzić budując



grodzę przybrzeżną dwuskrzydłową, skierowaną pod kątem do rzeki / A / i wchodzącą skrzydłami na brzeg, lub też prostokątną / B /, której jedna ścianka jest równoległa do biegu rzeki, a dwie - prostopadłe łączą się z brzegiem.

Z przestrzeni ogrodzonej możemy usunąć wodę pompowaniem

i wykonać roboty budowlane na sucho. Możliwość stosowania tego typu gródz zdarza się jednak dość rzadko, przeważnie bowiem uwarstwienie gruntowe brzegu, zawierające pokłady wodonośne, zmusza do odgrodzenia się również od strony brzegu. Wtedy grodzę budujemy w kształcie czworoboku zamkniętego / C /. Taką samą grodzę o konturze zamkniętym budujemy, jeżeli woda otacza budowlę ze wszystkich

stron /D/.

W większości typów gródz najważniejszą częścią jest ściana szczelna, stanowiąca o wodoszczelności grodzy. Uzyskanie całkowitej wodoszczelności ściany należy do rzeczy nader trudnych. Za najśłabsze pod tym względem miejsca należy uważać wszelkie załamania jej w planie, t.j. kąty. Z tych też względów przy projektowaniu grodzy dążyć należy do jak-największego ograniczenia tak długości samej ściany szczelnej jak też ilości jej załamania w planie. Jednak przy skomplikowanym konturze budowli lepiej będzie zmniejszyć ilość załamania ściany kosztem zwiększenia powierzchni samej ściany, niż odwrotnie. Naogół dążyć należy, by ściana szczelna ograniczała jaknajmniejszą powierzchnię, co można uzyskać przez możliwie największe przybliżenie jej do obrysu fundamentów.

Przykład tego widzimy na rys. 55. Tu ściana szczelna otacza zarys filara mostowego, a że nadać jej krzywizny nie możemy, składa się z odcinków prostych, mających kształt wieloboku. Zamiast kołistego zaokrąglenia ściana ma dwa załomy w punktach *A* i *B*. Możliwość wprowadzenia tych dwóch



narożniki i połączyć wprost punkty  $D$  i  $C$  oraz  $E$  i  $F$ , jednak ten drugi sposób byłby gorszy z punktu widzenia wodoszczelności, bowiem otrzymalibyśmy skrócenie długości ściany kosztem podwojenia ilości narożników.

Na rys. 56, przedstawiającym grodzę dla przyozółka, widzimy zjawisko odwrotne. Tu odchylenie od zarysu budowli skróciło ścianę szczelną i pozwoliło uniknąć dwóch zakamów.

Ściany grodzy mogą być wodoszczelne jednak nie chronią przed dopływem wody, która dostanie się przez przepuszczalne warstwy gruntu od dołu. Dla uniknięcia tego grodza powinna przecinać te warstwy i dochodzić do gruntu nieprzepuszczalnego.

Grodza powinna być o tyle mocna, by utrzymywać parcie wody, stanowiąc rodzaj ściany oporowej, przeciwstawiającej się ciśnieniu hydrostatycznemu.

Grodze jako budowle czasowe wykonuje się z możliwie tanich materiałów, a jak u nas w Polsce, z drzewa i ziemi. W ostatnim pięćdziesięcioleciu zaczęto stosować również żelazo, co jednak dla naszych polskich warunków rzadko bywa wskazane ze względów ekonomicznych, z wyjątkiem wypadków szcze-

gólnej wagi.

## 2. Grodze ziemne.

Najprostszym typem grodzy jest wał ziemny usypany wprost na dnie. Jeżeli jednak dno mamy gliniaste, pokryte namułem, który jest przepuszczalny, należy ten muł usunąć, wybagrowując go i w ten sposób wciąć wał ziemny

w dno. To też grodzę,

tego typu, wykonaną według rysunku obok, należy uważać za mało

odpowiednią. Dobrze

zaś usypana będzie

grodza przedstawiona na rys. 57.



Zboczem wału nadajemy spadek większy od strony wykopu / 1:1 /, mniejszy od strony wody / 1:1.5 /.

Wysokość takiej grodzy może dochodzić do 1 m. w wodzie bieżącej i do 2 m. w wodzie stojącej. Grodze tego typu są zupełnie odpowiednie w wodzie stojącej która nie działa na nie niszcząco. Od strony wody wzdłuż jej zwierciadła i nad niem okrywany zbocza darnią. Nie zawsze to jednak wystarcza wobec ude-



rzeń fali wywołanej wiatrem, czy przez statki, przepływające obok, i nie zabezpiecza od wirów. Dla uchronienia od uszkodzeń przez fale dobrze jest otoczyć grodzę czy to tratwami, czy też nawet blatami z desek, które fali do wału nie dopuszczają. Przed działaniem wirów można obsypać miejsca zagrożone kamieniami lub obłożyć workami z piaskiem.

Wodoszczelność uzyskuje się przez użycie do usypania wału odpowiedniego gruntu, nie przepuszczającego wody. Najodpowiedniejszą jest do tego glina, która w wodzie pęcznieje i uszczelnia pory. Ponieważ nie zawsze można mieć dostateczną ilość gliny dla usypania całego wału, wobec tego tylko część jego od strony wody wykonujemy z gliny resztę zaś z gruntu, jaki jest najłatwiejszy do uzyskania, byleby nie miał właściwości płynięcia w zetknięciu z wodą / kurzawka /. Typ tego rodzaju grodzy widzimy na rys. 58, gdzie zewnętrzna część jej wykonana została z gliny i zagłębiona w dno.

Dla uzyskania wodoszczelności wystarczyłby wał grubości około 1 m. Ponieważ jednak taki wał nie zabezpieczałby stateczności, która ma tu pierwszorzędne znaczenie, przeto należy go obsypać z dwóch

stron innym gruntem, który utrzymać go może w równowadze. Typ takiej grodzy widzimy na rys. 59 gdzie rdzeń jej zagłębiony w dno wykonany jest z gliny, boki zaś z innego gruntu.

Grodze ziemne mają jednak dwie zasadnicze wady: zajmując dużo miejsca, zwężają koryto rzeki, a prócz tego wymagają dużo pracy przy usuwaniu, gdy stają się niepotrzebne. W rzekach usuwanie pozostawia się zwykle prądowi wody, który jednak łatwiej upora się z każdym innym gruntem niż z gliną. To też dla zmniejszenia objętości grodzy i ułatwienia jej rozbioru stosuje się sposób wskazany na rys. 60. Tu rdzeń wału wykonany jest z worków napełnionych do  $\frac{3}{4}$  gliną. Gлина pod wpływem wody pęcznieje od czego worki lepiej do siebie przylegają. Zzewnątrz wał z worków obsypujemy gliną, która z pomocą prądu wody zamula szczeliny między workami. Dla stateczności wał z drugiej strony obsypujemy takim gruntem jaki jest pod ręką. Przekrój takiego wału jest znacznie mniejszy, przy dostatecznej szczelności i stateczności, dzięki czemu mniej zwęża koryto rzeki. Usuwanie takiej grodzy jest ułatwione: worki odciągamy hakami do brzegu resztę nasypu unosi prąd.



### 3. Grodze z drewnianemi ścianami.

Wały ziemne naogół stosujemy rzadko. Grodzą dającą większą wodoszczelność, a jednocześnie zajmującą mniej miejsca, jest wał ziemny, połączony ze ścianą drewnianą / rys. 61 /. Tu pale, wbite w dno w odległości 2 do 3 metrów jeden od drugiego, połączone są oczepem. Do nich przystawione są od strony wody tafle, zbite z desek poziomych, połączonych łatami pionowymi i skośnymi. Tafle te sięgają do dna i obsypane są wałem ziemnym / najlepiej z gliny / od strony wody. Jest to grodza z jedną ścianą szczelną, odznaczająca się tem od poprzednich typów, że wymaga mniej gliny, zajmuje mniej miejsca, jest bardziej wodoszczelna i daje większą odgrodzoną przestrzeń. Wadą tego typu są trudności, jakie przedstawia zakładanie tafli: woda dzięki wyporowi stara się je unieść do góry, muszą one jednak być ustawione bardzo szczelnie jedna koło drugiej. Drugą wadą ich jest, że nie zabezpieczają miejsca ogrodzonego przed przenikaniem wody dołem przez warstwy słabego gruntu, zalegające zazwyczaj pod samym dnem rzeki. To też lepszym typem jest grodza przedstawiona na rys. 63, w której ściana szczelna składa się z desek piono-

wych, wbitych w dno i przenikających górne warstwy gruntu, mogące dawać filtrację. Górą deski oparte są o oczep, łączący pale. Deski dla większej szczelności mogą być szpuntowane / rys. 216 - c, 217 - b, 217 - d /. Wał ziemny sypać należy tak, by parcie jego przyciskało deski do oczepu.

Od grodzy z jedną ścianą szczelną następny krok do grodzy z dwiema ścianami. Na rys 62 widzimy taką grodzę: składają się na nią dwa szeregi pali wbitych w dno i połączonych oczepem, za pale założone zostały tafle, zbite z poziomych desek, między ściany zasypana została ziemia, przyczem dla lepszego połączenia grodzy z dnem zostało ono między ścianami pogłębione. Dzięki temu tafle zagłębiły się w grunt. Dla przeciwdziałania rozpięrającemu działaniu ziemi zasypanej między ścianami, oczepy połączono ściągaczami nałożonemi na nie i przyciosanemi:

Jednak i tu, taksamo jak w grodzach z jedną ścianą, tafle nie zabezpieczają przed filtracją wody przez słabe warstwy gruntu, znajdujące się pod nimi. Lepszy pod tym względem typ, przedstawia grodza o dwóch ścianach, wbitych w dno i przecinających słabe warstwy gruntu. Wzór tego rodzaju widzimy na rys. 64.



Tu pale kierunkowe w szeregach nie są połączone ze sobą podłużnymi oczepami, lecz pojedynczymi kleszczami założonymi przy samym wierzchu pali od zewnątrz grodzy. Między sobą szeregi połączone są poprzecznymi ściągaczami, których część stanowią parzyste kleszcze obejmujące pale, część zaś pojedyncze ściągacze, nałożone na kleszcze podłużne. Ściany szczelne wykonane są z desek, wbitych pionowo w dno. Dla nadania im należytego kierunku przy wbijaniu, deski ujęte są w dwie pary poziomych kleszczy, opartych o pale kierunkowe. Prócz tego między ścianami a palami założona została dodatkowa pojedyncza kierownica.

Trzeci pośredni typ grodzy o dwóch ścianach szczelnych będzie miał jedną ścianę wbitą w grunt, a drugą zakładaną z tafli, jak w typie pierwszym.

Grodze o dwóch ścianach szczelnych bywają używane najczęściej. Zajmując mniej miejsca od wałów ziemnych, wymagają one znacznie mniej gliny, a są przytem bez porównania bardziej wodoszczelne, szczególnie zaś jeżeli choć jedna ściana przenika w dno i przecina dopływ wody gruntowej do miejsca ogrodzonego.

Słabe strony tego rodzaju grodzy stanowią: jej

mniej odporność na wywracanie pod działaniem parcia otaczającej wody oraz rozpór gruntu, zasypanego między ściany, który wygina ścianę wewnętrzną /jeżeli patrzeć z miejsca, otoczonego grodzą /. Dla przeciwdziałania temu podpieramy grodzę od środka zastrzałami, które przejmują na siebie napór gruntu.

W narożach wewnętrzne kleszcze kierownicze każdej ściany musiałyby przebić drugą by móc objąć pal kierunkowy, przeto należy je w tym miejscu uciąć, a połączenie wykonać według jednego ze sposobów, wskazanych na rys. 67 i 68.

Przestrzeń między ścianami zasypujemy gruntem. Pożądana jest glina. Ponieważ jednak glina zarzucona w bryłach stanowiłaby masę porowatą, więc zapełnienie dajemy albo z gliny przerobionej, albo zasypujemy gliną z piaskiem, który zapełni przestrzeń między bryłkami gliny.

Jaka powinna być grubość grodzy? Można by grodzę rozpatrywać jako ścianę oporową, jednak obecność pali wbitych w grunt, utrudnia obliczenie. Najczęściej stosujemy angielski wzór empiryczny Elsnera, a mianowicie:

Jeżeli oznaczymy przez

$h$  - głębokość wody



$e$  - grubość grodzy,

to przy  $h \leq 8' \approx 2,4 \text{ m.}$   $e = h$

a przy  $h > 8'$   $e = \frac{h}{2} + 4' = \frac{h}{2} + 1,2 \text{ m.}$

Jaka jest największa możliwa wysokość grodzy?

Największa długość drewnianych pali bywa około 10 m. Jeżeli dać zagłębienie w grunt minimum 1,50 m., to wysokość grodzy nad dnem wyniesie 8,50 m. W wodzie stojącej grodza winna wystawać ponad wodę około 0,50 m., w wodzie bieżącej - więcej - do 1 m. Tedy największa głębokość, przy której można wykonać grodzę dla wody stojącej wyniesie 8 m., a dla wody bieżącej nieco mniej.

Takie są wielkości normalne dla naszych polskich warunków; wyższą grodzę trudno zbudować, bo nie znajdziemy odpowiedniego materiału. W Ameryce, gdzie materiał można mieć lepszy, budują grodze wyższe.

Wzór Elsnera ustala ogromne grubości. W zasadzie wykres hydrostatycznego parcia wody ma kształt trójkąta, wobec tego grodza mogłaby mieć trójkątny przekrój poprzeczny. Ponieważ w praktyce tego rodzaju kształt nie daje się uzyskać, staramy się otrzymać najbardziej do trójkąta zbliżony przekrój

budując grodzę uskokami. Przykład takiej grodzy widzimy na rys. 66. Jest to grodza trójdzielna, składająca się z czterech ścian szczelnych. Pierwsza / lewa na rysunku / ściana *B* składa się z bali szpuntowanych, wbitych pomiędzy parą kleszczy kierunkowych i ma na sobie zgóry nałożony oczep. Następne trzy ściany pod względem wykonania są jednakowe: każda z nich składa się z szeregu pali kierujących, połączonych u góry kleszczem z kantowizny. Sama ściana - z bali szpuntowanych, wbitych równolegle do szeregu pali, opiera się górą o ten kleszcz od strony wody. Różnią się te trzy ściany między sobą jedynie wysokością, tworząc trzy przedziały grodzy:  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  i  $\Omega_3$ . Wysokości tych przedziałów mają się do siebie jak 3:2:1. Wszystkie trzy wypełnione są gliną z piaskiem, przyчем pierwszy został zagłębiony w dno, przez wybagrowanie zeń gruntu. Dla zapobieżenia rozpierającemu działaniu gliny założono ściągacze: w pierwszym przedziale ściągacze zostały włożone z góry w oczep pierwszej ściany i w kleszcz drugiej oraz dodatkowo połączone śrubami z palami kierunkowymi tej drugiej ściany. Nad dwoma drugimi przedziałami ściągacze wykonane są jako parzyste



kleszcze, łączące pale dwóch sąsiednich szeregów i połączone z nimi śrubami. Dla usztywnienia całości każdy stopień został podparty szeregiem zastrzałów, opartych górą i dołem o dodatkowe kleszcze z okrągłaków. Dla dolnego stopnia w tym celu wbity został dodatkowy szereg pali, połączony również z poprzednim parzystymi kleszczami i zastrzałami.

W omawianej schodkowej grodzy najgrubsze bale winny być użyte dla najwyższych dwóch ścian, trzecia ściana będzie miała bale cieńsze, a najcieńszych wymaga czwarta najniższa.

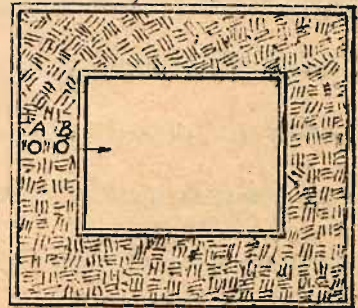
Wykonanie takiej grodzy postępuje etapami. Najprzód wykonujemy pierwszy przedział, wbijając pale kierujące i ściany szczelne, pogłębiamy między nimi dno i zasypujemy przedział gliną z piaskiem. Po odpompowaniu wody do poziomu, pozwalającego na wbicie trzeciej ściany wykonujemy drugi przedział i t.d. w miarę odpompowywania wody.

Jeżeli grodza jest zamknięta, a otoczona nią przestrzeń jest niezbyt wielka, co pozwala założyć rozpory pomiędzy przeciwległymi ścianami grodzy, wtedy zastrzały są zbędne.

#### 4. Naprawa usterek w grodzach drewnianych.

W praktyce przy wykonaniu gródz o ścianach drewnianych częstokroć nie udaje się uzyskać wymaganej wodoszczelności. Bywa, że gródza przepuszcza, po wypompowaniu wody z ogrodzonej przestrzeni okazują się strumyczki, wyciekające z gródzy / strzałka na rysunku obok /. Czasami pomaga tu

ubicie ziemi między ścianami wkoło miejsca, gdzie ukazały się strumyki. Sposób ten udaje się, gdy szczelina, przepuszczająca wodę, zalega niegłęboko pod powierzchnią zasypki gródzy. Gdy szczelina



położona jest głębiej, sposób ten zawodzi. Wtedy wbijamy jeden lub dwa pale naprzeciwko strumyka / A i B na rysunku /, co wpływa na stłoczenie zasypki i może przerwać strumyk. Jeżeli i to nie pomoże, wyciągamy te pale i w pozostawione przez nie otwory wsypujemy sproszkowaną glinę, która pęczniejąc może zatkać szczelinę, przepuszczającą wodę.

Zdarza się jednak, że wszystkie te sposoby nie pomagają, wtedy można jeszcze naprzeciwko miejsca przepuszczającego wodę wbić od zewnątrz gródzy dodatkową



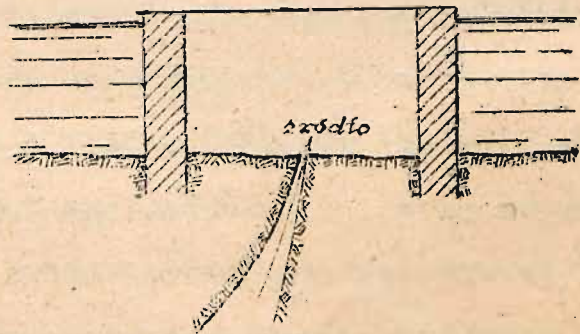
ścianą szczelną i dobudować dodatkowy przedział / rys. 72 /.

Jeżeli grodza przepuszcza wodę dołem / rys. 70 /, to stosujemy ten sam sposób, wbijając zzewnątrz grodzy dodatkowo jedną czasami dwie, ściany szczelne dla przecięcia żyły gruntu przepuszczalnego, po której woda przedostaje się pod grodzą. Po wbiciu ściany szczelnej dobudowujemy dodatkowy przedział grodzy.

Przesiákanie wody może się również odbywać od spodu z dna przestrzeni, otoczonej grodzą. Tworzą się źródła, których obecność poznać można po kręgach jakie się ukazują na powierzchni wody, gdy się jej poziom ob-

niży przez pompowa-  
nie / rys. 71 /.

Zródka takie albo istniały przed postawieniem grodzy, były jednak z powo-



du głębokości wody lub z powodu prądu niewidoczne, albo też źródka tego nie było, bo na przeszkodzie stało ciśnienie wody lub warstwa ziemi, uciskanej

przez wodę. Po usunięciu wody ciśnienie ustało i woda w postaci fontanny wytryska w górę. Przypadek to nader niepożądany, gdyż wodę trzeba zahamować. W tym celu należy zbadać kierunek otworu, przez który woda się przedostaje, i wbić weń pal. Jeżeli to nie pomaga, a woda stara się wycisnąć pal z otworu, wtedy przy pomocy tego pala rozszerzamy otwór i zarzucamy go workami z cementem, który po stężeniu może zamknąć dopływ wody. Dobrze jest dla obciążenia worków dodawać do cementu żelaziwo. Lepiej od worków dostosowują się do otworu wióry żelazne z cementem, które ochronią prócz tego cement przed wy-  
mywaniem.

O ile wszystkie te sposoby zawodzą, otaczamy źródło ścianą szczelną, wkoło niej budujemy fundament, a źródło po skończeniu roboty zatykamy. Z tak wykonanej studzienki należy dać wodzie ujście.

Inny lepszy sposób polega na zapuszczeniu w źródło pionowej rury, po której woda może odpływać nazewnątrz lub też - może się zatrzymać w niej na pewnej wysokości w zależności od ciśnienia w źródle. Betonowanie fundamentu wykonujemy jak w poprzednim wypadku.



Zazwyczaj poprawianie i uszczelnianie grodzy oraz walka ze strumykami i źródłami zajmuje połowę czasu, użytego na samo wybudowanie. Dlatego też należy dokładać jaknajwięcej starań, by możliwie najlepiej wykonać grodzę, nie szczędząc trudów, to się zawsze w następstwie opłaci.

Dla wybudowania grodzy o drewnianych ścianach szczelnych potrzebny jest przedewszystkiem grunt dna, pozwalający bić pale, należy dołem ściany szczelnej osiągnąć grunt nieprzepuszczalny jak glinę, glinę z piaskiem, lub wreszcie piasek z gliną. Wprawdzie forsownem pompowaniem można zwalczyć dopływ wody, ale to nie jest pożądane ani wskazane.

### 5. Grodze mieszane.

Na Garonnie we Francji ze względu na skalisty grunt, zalegający pod warstwą 1ku, przy głębokości wody 1.50 m., zamiast grodzy ze ścianami szczelnymi zastosowane typ, przedstawiony na rys. 73. Składała się ona z desek, ułożonych w nakładkę na brusach, podpartych kozłami. Ten pochylony pomost obsypano gliną.

Tegoż typu grodze użyto na rozlewie Dniepru, przy głębokości wody do 3 m. z tą różnicą, że dla obsypa-