



ANDRZEJ STAŃCZYK

Warbud SA
stanczyk.andrzej@neostrada.pl

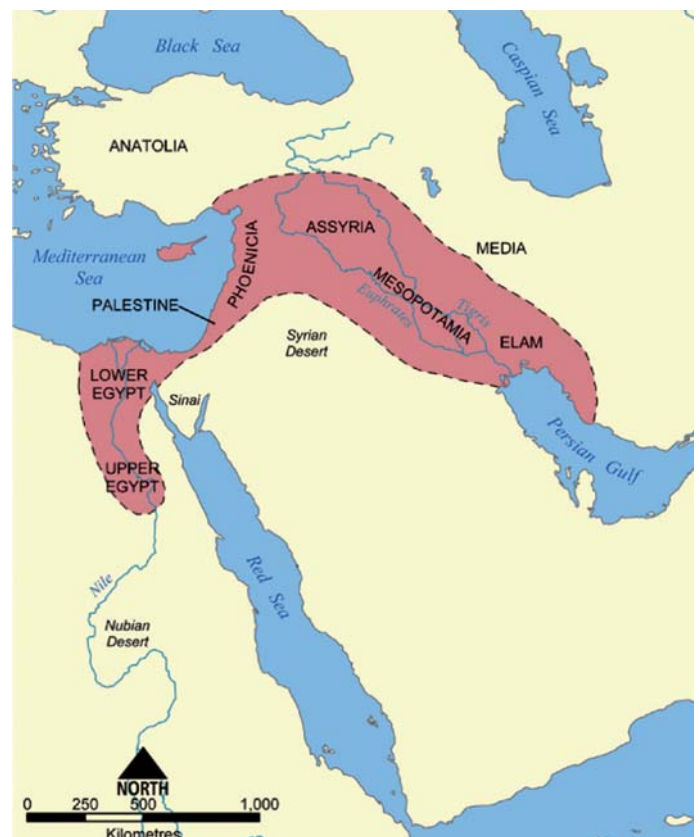
O przewadze „Chudych Wojtków” nad „Grubą Kaśką”, czyli starania człowieka w pozyskiwaniu i przesyłaniu wody oraz polskie osiągnięcia w tym zakresie

Pozyskiwanie i przesyłanie wody jest tak dawne, jak najstarsze cywilizacje. Wcześniej – w epoce kamiennej, wędrownie plemiona skupione w małych grupach żywiły się polując i zbierając korzenie, jagody, liście, a wodę do picia czerpały z naturalnych zbiorników: źródeł, strumieni, rzek i jezior.

Pod koniec epoki lodowcowej, około 12 tysięcy lat p.n.e., na Bliskim Wschodzie nauczono się uprawiać ziemię i w ten sposób zapewniać sobie byt. Konieczność przebywania w pobliżu upraw wymogła budowę siedzib, udomowienie i hodowlę zwierząt oraz potrzebę doprowadzenia wody do miejsc zamieszkania i do nawadniania pól.

Ten nowy sposób na przetrwanie rozprzestrzenił się gwałtownie na sąsiednie tereny w Azji i Afryce – tym łatwiej, że w Mezopotamii i w Egipcie, na brzegach Eufratu i Nilu, istniały szczególnie korzystne warunki do prowadzenia upraw: żyzne namułowe ziemie osadzone przez wylewy rzek i dostatek wody do nawadniania pól (rys. 1). Budowano więc kanały, którymi woda spływała do miejsc położonych niżej, a na tereny znajdujące się wyżej od poziomu wody przepompowywano ją specjalnymi urządzeniami. Wiele dziś użytkowanych instalacji nawadniających jest wzorowanych na tamtych najdawniejszych.

Występowała jednak istotna różnica między warunkami rozwoju rolnictwa w Mezopotamii i w Egipcie. Rzeka Nil płynąca z południa na północ jest zasilana przez deszcze monsunowe. Wylewała ona w okresie wzrostu roślin, nawadniając je samoczynnie, natomiast na rzekach Bliskiego



Rys. 1. „Żyzny półksiężyc” – tereny pierwszych cywilizacji: Sumerów i Egipcjan [Internet]



Fot. 1. Urządzenie do przepompowywania wód w kanałach nad dolnym Eufratem: a) widok ogólny „przepompowni”, b) urządzenie napędowe „przepompowni” – kierat ciągnięty przez osła

Wschodu powódzie występowały wiosną wskutek tajania śniegów w górach, w porze niekorzystnej dla wzrostu roślin. Nawadnianie ziem nad Eufratem kanałami było więc konieczne i okazało się tak skuteczne, że ilość wytwarzanej żywności znacznie przekroczyła potrzeby jej wytwórców. Uwolniło to część ludności od konieczności zabiegania w ten sposób o własny byt i umożliwiło zajęcie innymi czynnościami. Nastąpił rozwój rzemiosła, nauki i sztuki, co miało wpływ także na rozwój rolnictwa i doskonalenie sposobów zaopatrzenia w wodę. Około 4 tysięcy lat p.n.e. nad Eufratem powstały pierwsze miasta, zmieniając rozmieszczenie osadnictwa i nasilając potrzebę budowy wodociągów i kanalizacji. Tak więc już najstarsze cywilizacje: sumeryjska w Mezopotamii i egipska wzdłuż Nilu, a także i inne w różnych miejscach naszego globu, tworzyły pierwsze wodociągi.

Nad Nilem, do napełniania kanałów stosowano rodzaj nieskomplikowanej dźwigni – na jednym końcu jej ruchomego ramienia znajdował się worek na wodę wykonany ze skóry zwierzęcia, na drugim zaś obciążnik równoważący część ciężaru worka z wodą. Przy pomocy siły rąk można było podnosić zaczerpniętą wodę dźwignią i napełniać

nią kanał, którym dzięki nachyleniu, woda płynęła w pożądanym kierunku. Jeszcze i współcześnie takie urządzenia można spotkać w Egipcie, a podobnie działające żurawie studzienne do niedawna używano też w Polsce.

Nad Eufratem, w południowym Iraku, można było w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku spotkać proste, „pryzagrodowe” urządzenia przelewające wodę do wyżej położonych kanałów, wzorowane na dawnych – z czasów Sumerów. Urządzenie pokazane na fotografii 1 pochodzi z okolic miejscowości Nassiriji.

Podobnie jak tamte, najdawniejsze, napędzane były kieratem ciągniętym przez osiołka i poruszając drewniane koła „zębate”, które przenosiły obroty na wał napędzający, wprawiały w ruch urządzenie czerpakowe. Choć czerpaki w nim wykonano już z blach stalowych, to pozostałe elementy: drewniane belki kieratu i koła zębate, gliniane słupy-ściany podtrzymujące górną belkę, a przede wszystkim sama koncepcja urządzenia, nie zmieniły się od początków cywilizacji. Nie można przy tym nie docenić, jak wielki wkład w rozwój naszej cywilizacji wniosły te cierpliwie kłapouchy napędzające podobne urządzenia od tysięcy lat.



Fot. 2. „Przepompownia” wód nad Nilem w Górnym Egipcie: a) kierat ciągnięty przez muła, b) widok stalowej przekładni

Bliźniacze urządzenia, z podobnym czerpakiem spotyka się we wsiach nad Nilem także dziś. Pokazane na fotografii 2, jest napędzane kieratem ciągnionym przez muła, lecz ma stalowe nie tylko czerpaki, ale i koła zębate przekładni. Zagarniana przez czerpaki woda sływa w nim do rury osłaniającej wał napędzający, skąd wylewa się do kanału.

W innym, doskonalszym urządzeniu napotkanym nad środkowym Nilem, siłą napędzającą jest energia płynącej wody. Jej nurt popycha łopatki przymocowane do koła i obracając nim podnosi do góry komory czerpakowe. Komory te wypetnia woda po zatopieniu w perigeum, a po pod-

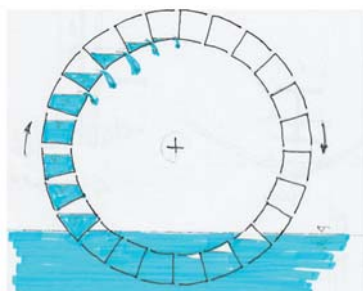
niesieniu – wypływa szczelinami do koryta. Odpowiednie rozmieszczenie szczelin w komorach sprawia, że po szybkim napelnieniu komór w położeniu dolnym, woda u góry wylewa się z opóźnieniem do rynny, skąd rozprowadzana jest do kanałów. Tego typu urządzenia działają w wielu wio-



Fot. 5. Koła wodne w skansenie nad Nilem



b)



Fot. 3. Koła wodne w Egipcie, napędzane energią płynącej wody: a) widok z boku, b) schemat działania koła wodnego

a)



b)



Fot. 4. Urządzenie do podnoszenia wody z kanału w wiosce nad Nilem

Fot. 6. Koła do podnoszenia wody w syryjskim mieście Hama

skach położonych wzdłuż Nilu (fot. 3, 4 i 5) – tam, gdzie jeszcze nie wyparły ich pompy spalinowe lub elektryczne.

Pomysł stosowania podobnych kół wodnych, znany na Bliskim Wschodzie, rozpowszechnił się w średniowieczu i na inne tereny podbite przez Arabów – od Bagdadu do Półwyspu Pirenejskiego były ich tysiące. Jedno z nich odtworzono współcześnie w mieście Toledo w Hiszpanii. Napędzane wodą płynącą w rzece i przelewaną do kanałów zasilają akwedukty, fontanny, ogrody i pola. Kilka takich kół, napotkanych w mieście Hama w Syrii, pokazano na fotografii 6. Imponujące wymiary niektórych można ocenić

porównując z wielkością człowieka. W samym Hama było ich niegdyś około trzydziestu, pozostało zaledwie kilka.

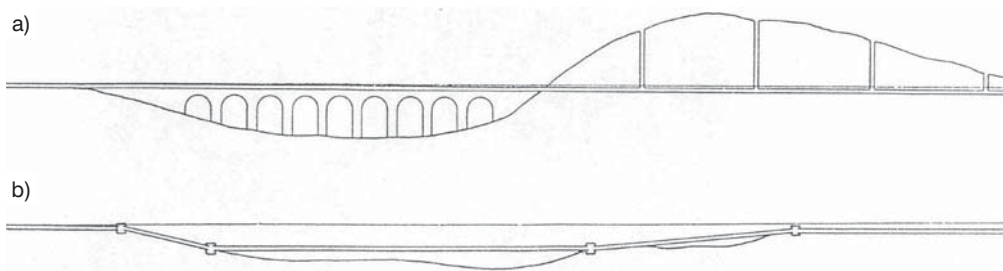
Pokrewnie urządzenie napotkać można na indonezyjskiej wyspie Jawa. Napędzane siłą ludzkich mięśni, nabiera wodę do czerpaków przymocowanych na obwodzie koła, z których „szprychą” z bambusowej rury wylewa się do bambusowej rynny dopiero po osiągnięciu apogeum. Niestety, było ono zdewastowane i przez to nieczynne – na obwodzie koła pozostał samotnie już tylko jeden czerpak, mimo to napotkany wieśniak z dumą zademonstrował jego działanie (fot. 7).



Fot. 7. Urządzenie podnoszące wodę w wiosce na Jawie: a) kierat napędzany siłą ludzkich mięśni, b) koło wodne z bambusowymi czerpakami



Fot. 8. Studnia w południowych Indiach: a) widok ogólny, b) kierat ciągniony przez woła, c) gliniane czerpaki powiązane powrozem w łańcuch



Rys. 2. Sposoby doprowadzania wody w Cesarstwie Rzymskim [1]:
a) kanałami, b) rurami

Kolejny przykład urządzenia przepompowującego pochodzi z terenów innej, wielkiej cywilizacji nadrzecznej, powstałej 2,5 tysiąca lat p.n.e. w dolinie Indusu (fot. 8). Zasada działania jest w nim identyczna, choć trudno ocenić jakiej epoki sięga pierwowzór. Na pewno jednak pochodzi z tych wieków, kiedy ludzie nauczyli się wytwarzać ceramikę, bowiem za czerpaki posłużyły gliniane dzbany powiązane w jedno pasmo powrozem. Liczne ubytki glinianego łańcucha widocznego na zdjęciu świadczą, że nie jest to urządzenie trwałe. W tym przypadku do napędzania kierunku zaprzęgnięto wołu.

Prawdziwy kunszt w pozyskiwaniu wody i doprowadzaniu jej do ludzkich siedzib osiągnęli starożytni Rzymianie [1], [2] i [3]. Nie znali oni jednak odpowiednio wytrzyma-



Fot. 9. Rurociągi ceramiczne w Palmyrze w Syrii



Fot. 10. Akwedukt du Gard w południowej Francji



Fot. 11. Akwedukty pod Stambułem



Fot. 12. Akwedukt Amoreira w Portugalii [5]



Fot. 13. Kaskadowe tarasy pól ryżowych w Chinach

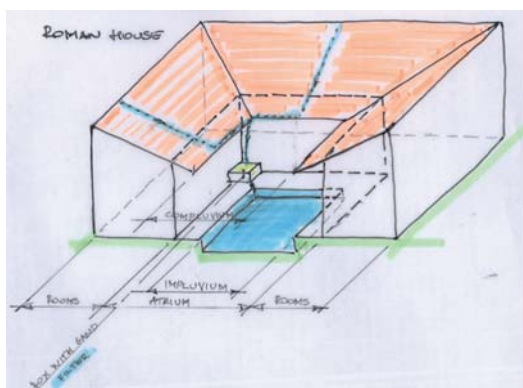
tych materiałów do budowy rur, które mogłyby przenosić znacznie większe ciśnienie przesyłanej wody – ciśnienie zależne od różnicy poziomów ułożenia wodociągu. Dlatego wodę prowadzono w kanałach otwartych, wykorzystując ukształtowanie terenu lub odpowiednio je dostosowując. Od źródeł w górach, gdzie pozyskiwano wodę, do miejsc przeznaczenia, płynęła ona korytem o jednostajnym spadku, unikając przepompowywania. Spadek ten był niewielki, niekiedy wynoszący tylko około 20-30 cm/km. Kanały z wodą biegły więc w wykopach, na nasypach, w tunelach i po akweduktach – budowlach mostowych z korytem kanału zamiast pomostu (rys. 2). Wodociągi takie osiągały znaczne długości, np. wodociąg prowadzący wodę do Pompejów w Italii miał 40 km, inny – od źródeł Eure koło Uzès do Nimes w dzisiejszej Francji pokonywał odległość 45 km [2], a zbudowany w Trypolitanii (tereny dzisiejszej Libii) – aż 65 km. Do wciąż powiększającego się Rzymu, kolejni cesarze budowali nowe wodociągi, choć nie każdy z nich dostarczał wodę smaczną i zdrową. Szczególne walory miała woda z akweduktu Marcjusza, natomiast wodociągi zbudowane z rur ołowianych i miedzianych dawały wodę mniej smaczną i niezdrową; używano jej więc raczej do napełniania fontann. Lepsze w tym względzie były rury ceramiczne w kształcie niewielkich stożków wsuwanych jeden w drugi (fot. 9). Po zmontowaniu takiego rurocią-

gu uszczelniano go pyłem wulkanicznym, który mieszano z wodą. Pył osadzał się w miejscach wycieków i wypełniał szczeliny w połączeniach rur. Sposób ten stosowano też współcześnie do awaryjnego uszczelniania ciekących chłodnic samochodowych, dodając do cieczy chłodzącej łyżkę musztardy, której drobne cząstki uszczelniały wyciek.

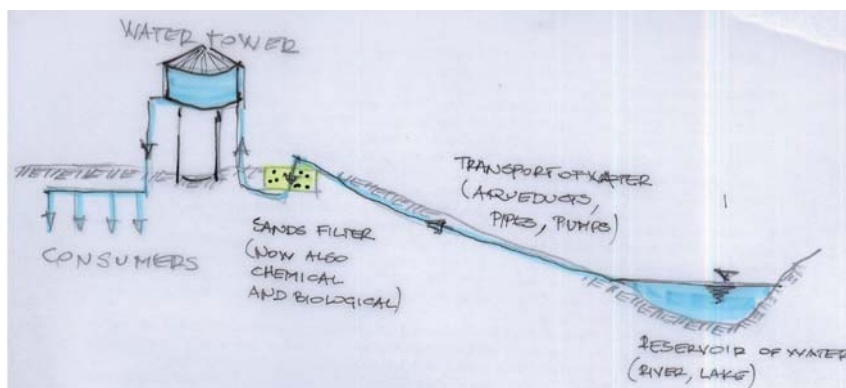
W antycznym Rzymie także budowano urządzenia do przepompowywania wody, stosując je m.in. do odwadniania kopalń, a energię jej spadku wykorzystywano też do poruszania młynów [4].

Rzymskie wzorce przesyłania wody w otwartych kanałach biegnących po kamiennych, wielopiętrowych akweduktach, powielano w różnych miejscach Europy jeszcze w wiekach XVI–XVIII, a nawet później [2] i [5], nie dorównywały one jednak pierwowzorom dokładnością wykonania (fot. 10–12).

W rozwiniętych później wielkich cywilizacjach Ameryki Środkowej i Południowej budowano wodociągi i stosowano nawadnianie pól, wykorzystując potoki i górskie ukształtowanie terenu. Rozbudowane systemy dostarczania wody, nawadniające uprawne tarasy na zboczach gór, spotyka się powszechnie w Peru na terenach dawnego Imperium Inków, a wodociągi do siedzib ludzkich – także w prekolumbijskich budowlach na terenie Meksyku.



Rys. 3. Układ domów w antycznym Rzymie



Rys. 4. Schemat dostarczania wody we współczesnych wodociągach

W górzystej Azji systemy grawitacyjnego nawadniania pól były znane od wieków i doprowadzone do mistrzostwa (fot. 13). Gdy sadzonki ryżu dojrzały na wyżej położonych tarasach, wodę spuszczano na poziomy niższe, osuszając poletka w celu ułatwienia zbiorów. Uprawiano ziemię wydarłe dżungli na zboczach wzniesień, zakładając uprawy poniżej miejsc, do których dopływała woda kanałami bez przepompowywania. Dziś znikają resztki dżungli nawet z wierzchołków wzgórz, bowiem pompy spalinowe podają wodę na dowolną wysokość.

W antycznym Rzymie korzystanie z wody doprowadzonej rurociągami było płatne i stanowiło źródło dochodów miasta, dlatego powszechnie magazynowano wodę deszczową. Wpłynęło to na specyficzny układ zabudowań mieszkalnych (rys. 3). Dachy domów były nachylone do wewnątrz i kierowały wodę opadową rynnami do filtra piaskowego, skąd – oczyszczona – spływała do sadzawki (impluvium). Współczesne wodociągi powielają elementy tamtego rozwiązania (rys. 4).

* * *

W średniowiecznej Warszawie wodę czerpano ze studni i z Wisły, a także ze źródeł, obficie występujących w niektórych, wyżej położonych obszarach miasta. Gromadzono ją w zbiornikach zwanych „nalewkami” – stąd nazwa ulicy Nalewki. Najstarsze zapisy dotyczące wodociągów warszawskich pochodzą z roku 1561, kiedy to drewnianymi rurami doprowadzono wodę na Stare i Nowe Miasto w Warszawie. Później, z wodonośnych terenów Woli spływała ona dwoma rurociągami średnicy 30-40 cm, zbudowanymi z pni jodłowych i sosnowych, do zbiornika na Rynku Starego Miasta, skąd od początku XVII w. zasilala także teren Zamku Królewskiego (fot. 14).

W połowie XVIII wieku drążono studnie dostępne dla mieszkańców. Do 1771 r. powstało ich szesnaście – w tym najbardziej znane: „Gruba Kaśka” na Tłumackiem i dwie studnie na placu Krasińskich; po upływie wieku było ich już 65 (fot. 15).

W 1855 r. uruchomiono wodociąg Marconiego, prowadzący wodę z Wisły do osadników i na filtry powolne u zbiegu Karowej i Dobrej, a następnie do zbiornika w ogrodzie Saskim, który przetrwał do dzisiaj (fot. 16). Stąd



Fot. 14. Rury z drewnianych pni w średniowiecznych wodociągach Warszawy

wodę rozsyłano po mieście rurami żeliwnymi. Wodociąg ten w ostatnich latach działalności, u schyłku XIX w. oczyszczał 14 tys. m³ wody na dobę, jednak w okresie przyborów rzeki woda z niego nie nadawała się do spożycia.



Fot. 15. Studnia z 1771 r., istniejąca w pobliżu Cytadeli Warszawskiej: a) widok ogólny Zdroju Królewskiego, b) tablica pamiątkowa na frontonie budowli



Fot. 16. Zbiornik wodny Marconiego – świątynia Westy w Ogrodzie Saskim; obecnie w podziemiach mieści schładzarnię wody z klimatyzatorów Teatru Wielkiego

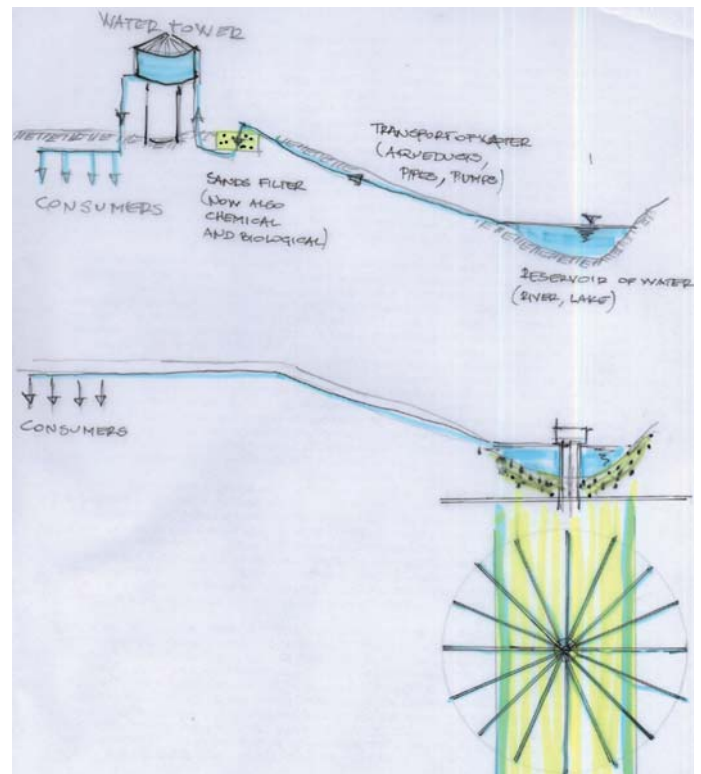
W drugiej połowie XIX w. także Praga otrzymała wodociąg. Zaprojektowany przez inż. A. Grotowskiego, nie miał urządzeń oczyszczających i rozsyłał wodę surową.

W 1881 r. warszawski magistrat zlecił inżynierom Lindleyom – ojcu i synowi projekt nowych wodociągów i kierowanie jego budową. Już po upływie pięciu lat popłynęła nim woda doskonałej jakości. Stację Pomp Rzecznych zlokalizowano przy ul. Czerniakowskiej na Powiślu, skąd wodę pompowano maszynami parowymi londyńskiej firmy Watt do Stacji Filtrów przy ul. Koszykowej. Tam, w najwyższej położonym punkcie Warszawy, była poddawana powolnej filtracji i rozsyłana rurami po mieście.

Filtry te zelektryfikowano i sukcesywnie rozbudowywano przez pierwsze dwudziestolecie XX wieku. Wciąż rosące zużycie wody spowodowało, że w 1930 r. do uzdatniania wody użyto chloru, a w trzy lata później uruchomiono filtry pośpieszne. Na początku II Wojny Światowej filtry i zbiorniki zostały poważnie uszkodzone, następnie zaś, w czasie Powstania Warszawskiego, wysadzono Stację Pomp Rzecznych. Uchodzące wojska niemieckie wywoziły wszystkie urządzenia filtrów, a miejska sieć wodociągowa była uszkodzona w wielu miejscach w czasie walk i wskutek metodycznego wysadzania budynków przez uchodzącego okupanta. Powojenną odbudowę wodociągu, stacji filtrów i stacji pomp uzupełniono o dodatkową przepompownię, zaopatrującą osadnik podczas niskich poziomów wód w Wiśle (fot. 17).

We wrześniu 1965 roku otworzono nowe ujęcie wód – Wodociąg Praski. Budowano go z przygodami, których dramaturgia mogła przyprawić jego twórców o atak serca. Koncepcja była nad podziw prosta – zamiast pompować wodę i dowozić piasek do filtrów na ul. Koszykową, a następnie wywozić piasek brudny, postanowiono pompować wodę czystą spod dna Wisły, wykorzystując naturalną filtrację przez warstwy piasków, zalegające pod dnem rzeki (rys. 5).

Zdecydowano opuścić studnię w piaszczyste podłoże, na głębokość 8 m poniżej dna i tam osadzić poziomo 15 rur studziennych z otworami. Po ewentualnym zamuleniu siatek filtrujących, chroniących otwory w rurach studziennych (drenach), łatwo je ponownie udrożnić przedmuchując sprężonym powietrzem z wnętrza rur, a zanieczyszczony piasek wymienić rzeczną pogłębiarką (fot. 18).



Rys. 5. Nowa koncepcja pozyskania wody w Warszawie

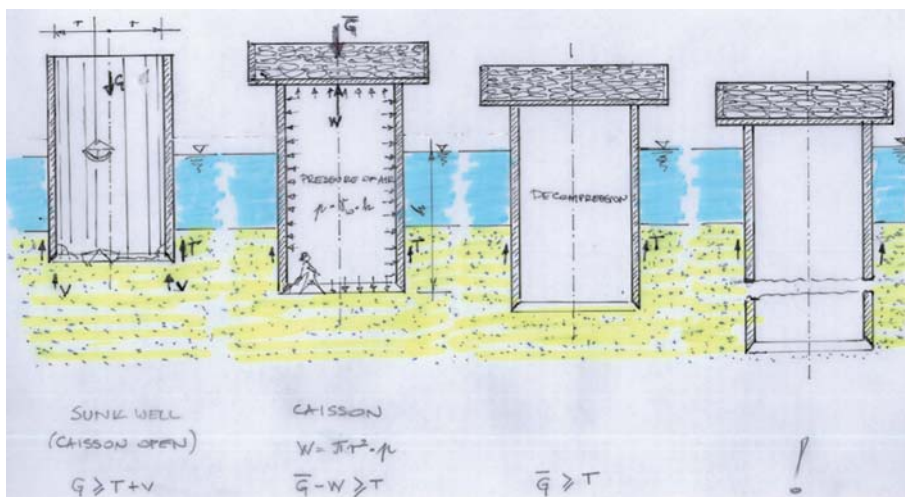
Wodę z tej studni, nazwanej „Grubą Kašką” na pamiątkę pierwszego zbiornika wody wzniesionego na ul. Tłumackie, doprowadzono na prawy brzeg rurami w tunelu zatopionym w Wiśle. Stąd po przejściu przez filtry pośpieszne i dezynfekowaniu, pompowana jest do Wodociągu Praskiego. Projekt tego tunelu i prace przy jego wykonaniu przedstawiali: prof. Henryk Stamatello i jego adiunkt – inż. Jan Rossman na wykładach z budownictwa podziemnego w Politechnice Warszawskiej. Wspominali też o perypetiach budowy „Grubej Kaški”, nie publikowanych z powodu cenzury prasy (rys. 6).



Fot. 18. Nowe ujęcie wody w Warszawie. Wiślana studnia zwana „Grubą Kašką”, wokół której pływają segmenty rurociągu pogłębiarki rzecznej



Fot. 17. Wieża ciśnien współczesnych filtrów w Warszawie



Rys. 6. Niepowodzenia budowy „Grubej Kaśki”

Otóż studnia wielokrotnie zawisała wskutek tarcia o grunt (F) i nie pogrążyła się na przewidzianą głębokość, mimo wybierania gruntu spod ścian od jej wnętrza. Jej ciężar (Q) był niewystarczający: $Q < F$. Dla lepszego poznania problemu oceńmy wielkości działających sił. Przyjmując wymiary ścian studni w przybliżeniu: średnica $d = 10,5$ m, grubość $t_1 = 0,5$ m i wysokość $h = 20$ m, to ciężar ścian studni w końcowych fazach budowy wynosił: $Q \cong \gamma \pi d h t_1 \cong 2,5 \times 3,14 \times 10,5 \times 20 \times 0,5 \cong 800$ T < F. By go zwiększyć, na studni zabetonowano strop i ułożono na nim worki z piaskiem. Przyjmując średnią grubość stropu $t_2 = 0,5$ m, ciężar studni osiągnął: $Q_1 \cong \gamma \pi d h t_1 + \gamma \pi d_w^2 t_2 / 4 \cong 1000$ T.

Gdy i to nie przyniosło wystarczającego efektu, studnię ze szczelnym stropem przerobiono na keson, by umożliwić ręczne wybieranie gruntu spod dolnej, okutej krawędzi ścian studni. Keson taki musiałby powstać w końcu prac i tak, by można było zabetonować dno studni i wysunąć rury filtracyjne. Siła wyporu spowodowana ciśnieniem sprężonego powietrza na powierzchnię stropu była niemała i działała odciążająco, w przybliżeniu miała wartość:

- wysokość słupa wody nad dnem kesonu: $h \sim 4,0 + 8,0 = 12,0$ m
- równoważące go ciśnienie powietrza w kesonie: $p \sim 12,0$ T/m²
- średnica wewnętrzna kesonu: $d_w \sim 10,0$ m
- siła wyporu działająca na strop studni-kesonu: $V = p \pi d_w^2 t_1 / 4 = 12 \times 3,14 \times 10,0^2 / 4 \cong 950$ T.

Próbowano więc chwilowo usunąć ją i w celu pokonania tarcia gruntu o ścianę, gwałtownie obniżano ciśnienie w kesonie, co było zabiegiem często stosowanym w pogrążaniu kesonów. Gdy betonowy cylinder zapadł się nieco, ciśnienie przywracano ponownie, by woda nie wplynęła do wnętrza i nie utrudniała w nim robót. Podczas jednej z takich operacji, żelbetowe ściany studni opuszczane w dno Wisły, słabo zbrojone, urwały się na obwodzie i do środka wtargnęła woda z piaskiem. Trzeba było odkuć pręty zbrojenia ścian, zespawać je i uszczelnić ścianę. Wykonano to pod osłoną wiklinowych materacy ułożonych wokół studni na dnie rzeki i po uszczelnieniu ich warstwą gruntu przepuszczającego wodę. Ostatecznie prace zakończyły

się sukcesem, który zachęcił do budowy nowych studni czerpiących wodę spod dna Wisły. Tym razem budowano je na brzegu, sięgając pod dno rzeki rurami. Po doświadczeniach budowy „Grubej Kaśki”, zaprojektowano dwie studnie o mniejszej średnicy wewnętrznej. Wykonano je w latach 1969–1970 nieco w górę rzeki od poprzedniej i nazwano „Chudymi Wojtkami” (fot. 19).

Po zmniejszeniu średnicy studni z 10 m do 6 m i przyjęciu niezmiennych pozostałych parametrów, opory tarcia ich ścian o grunt powinny zmaleć do 60% (proporcjonalnie do obwodu i promienia zewnętrznego studni), a wypór – prawie trzykrotnie (proporcjonalnie do



Fot. 19. Nowe studnie ujęcia wody. W głębi widoczny pylon mostu Siekierkowskiego

powierzchni stropu kesonu, tj. do kwadratu jej wewnętrznego promienia). O tyle zmniejszą się też prace ziemne i zwiększy dociążenie stropem.

I takie właśnie są przewagi „Chudych Wojtków” nad „Grubą Kaśką” – co zapowiedziano w tytule.

Jedną z tych nowych studni sięga rurami drenarskimi w okolice, gdzie poprowadzono most Siekierkowski, więc by uchronić drewno przed odkryciem wskutek ewentualnego rozmycia dna za podporami mostu, zdecydowano nie budować filarów w korycie rzeki, a pylony umieścić na terenach zalewowych.

Bibliografia

- [1] Witruwiusz.: *O architekturze ksiąg dziesięć* – księga VIII, PWN, Warszawa 1956.
- [2] Stańczyk A.: *Akwedukty rzymskie sprzed dwóch tysięcy lat*, „Drogownictwo”, nr 4/1998, s.116–120.
- [3] Stańczyk A.: *Pont du Gard niedomaga!*, „Drogownictwo”, nr 11/2000, s. 376–378.
- [4] Kornell T., Matthews J.: *Wielkie kultury świata – Rzym*, Świat Książki, Warszawa 1995, s.184,185.
- [5] Stańczyk A.: *Akwedukty portugalskie*, „Drogownictwo”, nr 2/1999, s. 61–64.