

USUNIĘCIE OSADU Z DNA JEZIORA NIEŚLUSZ. WYNIKI ZASTOSOWANIA METODY HYDRAULICZNEJ (1960 R.)

REMOVAL OF SEDIMENT FROM THE BOTTOM OF THE LAKE NIEŚLUSZ. THE RESULTS OF THE APPLICATION OF THE HYDRAULIC METHOD (1960)

Mgr inż. Włodzimierz Parzonka, Dolnośląskie Biuro Projektów Górniczych, Wrocław

Zagadnienie usunięcia płynnego osadu z dna jeziora Nieślusz. Pomyślne rozwiązanie problemu dzięki metodzie hydromechanizacji, uzyskanie oszczędności czasu i pracy. Zwiększenie zasobu pokładów eksploatacyjnych przez odsłonięcie grubych warstw węgla pod dnem jeziora. Metoda hydromechanizacji powinna być stosowana w zakresie znacznie szerszym niż dotychczas.

WSTĘP

Problem usunięcia osadu (szlamu) z dna jeziora Nieślusz, teren złoża kopalni Konin, powstał w roku 1954, w okresie zdejmowania nadkładu w zachodniej i środkowej partii złoża Nieślusz. Jezioro wypełnione było płynnym osadem o miąższości dochodzącej do 10 m, wykluczającym użycie ciężkich maszyn odkrywkowych. W roku 1954 utonęła częściowo w mule koparka typu Drageline, po przerwaniu kożucha roślinnego i płytkiej warstwy torfu na zachodnim brzegu jeziora. Po wyciągnięciu jej zanotowano jeszcze kilka wypadków utonięcia zwierząt.

Powstało poważne zagrożenie niewykonania planu kopalni wskutek straty węgla znajdującego się pod jeziorem. W tej sytuacji zaczęto poszukiwać metody, umożliwiającej usunięcie płynnego osadu w terminie do końca 1957 r. Opracowano trzy projekty. Dwa z nich opracowane przez pracowników ZPWB, bazowały na lądowym sposobie mechanizacji robót za pomocą wielokubelkowej koparki z odwozem mułu samochodami-wywrotkami. Koszt usunięcia osadu wg tych projektów wynosił 27 względnie 31 milionów złotych.

Przeciwny projekt, oparty na zastosowaniu metody hydraulicznej, tj. pogłębiarki i rurociągu tłocznego, ze znacznie mniejszym kosztem wykonania robót opracowała Katedra Budownictwa Wodnego W. S. R. we Wrocławiu. *) Autorem projektu był dr inż. J. Wołoszyn. Autor niniejszego artykułu opracował projekt techniczny usunięcia osadu i nadzorował w terenie wykonanie projektu.

Urządzenia wykonano w roku 1956, a od września 1956 do kwietnia 1957 (z przerwą zimową) przeprowadzono rozruch urządzeń i następnie zmianę metody usunięcia osadu. Muł wypompowano w latach 1957 do 1958.

Łączny koszt usunięcia 517 000 m³ osadu wyniósł 3 279 205,55, tj. o około 24 wzgl. 28 milionów zł mniej od kosztu podanego w projektach bazujących na metodzie lądowej.

Z powyższego wynika, że w sprzyjających warunkach metoda hydromechanizacji daje wręcz rewelacyjne wyniki. Podkreślenie to jest tym bardziej potrzebne, że osiągnięto je przy niedoświadczonej załodze (wykonawstwo prowadził SOWI kopalni „Konin”) i w trudnych warunkach wodnych. Muł

uległ znacznemu przesuszeniu w okresie 1954—1956 i zmienił konsystencję z płynnej na plastyczną. Spowodowało to tak duże trudności przy zasysaniu mułu spod zwierciadła wody, że zmusiło projektantów i wykonawców do zmiany metody i zastosowania rozmywania odsłoniętego osadu strumieniem wody pod ciśnieniem.

Przy płynnej konsystencji osadu koszt jego usunięcia byłby jeszcze niższy i wyniósłby około 2,5 miln. złotych, tj. około 5,— zł/m³.

Ogólna charakterystyka metody hydraulicznej

Metoda hydrauliczna polega na wykorzystaniu energii płynącej wody do odpajania gruntu i do transportu rozwodnionego materiału.

Odspojenie następuje poprzez bezpośrednie zasysanie gruntu rozwodnionego z dna cieków względnie przez rozmywające działanie strumienia wody pod ciśnieniem, o szybkości wylotowej 15—50 m/sek, na ścianę odsłoniętego wykopu.

Pierwszy z tych sposobów stosuje się często ze względu na łatwość prowadzenia prac i prosty, jednorodny sprzęt — zasysanie gruntu i jego transport wykonuje się jednym agregatem ssąco-tłoczącym. Odpajanie gruntu jest funkcją podciśnienia występującego w przewodzie ssącym i względnie małej szybkości strumienia zasysanej wody. Siła ta pozwala tylko na bezpośrednie zasysanie gruntów ziarnistych. Grunty zwięzłe wymagają wstępnego spulchnienia metodą hydrauliczną lub mechaniczną.

Drugi sposób służy do odpajania gruntu z wykopów lądowych. Strumień wody wytryskujący z wodomiotacza pod ciśnieniem wytwarza duży nacisk na powierzchnię wykopu powodując rozluźnienie gruntu i jego wymywanie.

Transport rozwodnionego gruntu może się odbywać:

- a) grawitacyjnie rowami lub korytami drewnianymi,
- b) rurociągami tłocznymi,
- c) sposobem mieszanym.

Rozwodniony grunt winien mieć odpowiednią szybkość przepływu rzędu 1,5—5,0 m/sek, dla uniknięcia osadzania się cząstek stałych podczas transportu.

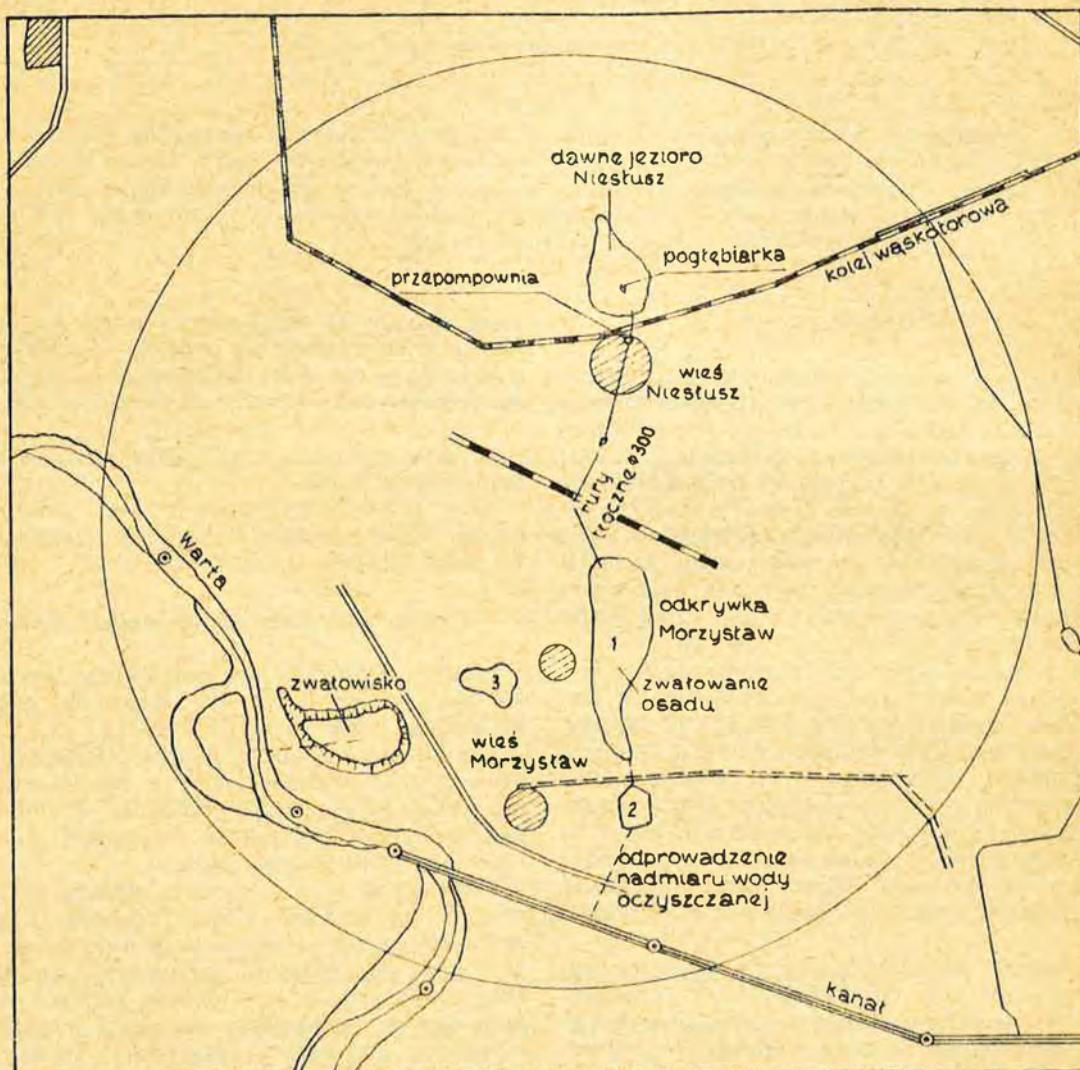
Przy transporcie grawitacyjnym potrzebny jest odpowiedni spadek rowów względnie koryt drewnianych gwarantujący wytworzenie tej szybkości.

*) Na zlecenie DBPG we Wrocławiu (dop. Red.)

POŁOŻENIE JEZIORA NIEŚLUSZ I BUDOWA GEOLOGICZNA NIECKI JEZIORA

Jeziro Nieślusz znajdowało się w niecce bezodpływowej na terenie złoża węgla brunatnego kopalni „Konin” w odległości około 5 km na północ od miasta

Konin. Niecka ta o powierzchni kilkunastu ha i o głębokości max. 10 m, wypełniona początkowo wodą, zanieśiona została osadem o miąższości sięgającej 8 m i o objętości około 500 tys. m³. Na pobrzeżach jeziora występuje torf o dużej zawartości detrytus muszlowego i giti wapiennej.



Rys. 1. Szkic sytuacyjny

Częściowe osuszenie jeziora w latach 1945–1951 i wypompowanie wody z dna w r. 1952 przyspieszyło proces torfienia. Całe jezioro zarosło wtedy kożuchem roślinnym o grubości 10–20 cm, którego usunięcie było specjalnie trudnym problemem technicznym. Zastosowanie sprzętu mechanicznego nie było możliwe ze względu na płynną konsystencję osadu — zdecydowano wobec tego zdjąć kożuch roślinny w zimie po jego zamrożeniu. Jednak nawet przy temperaturze -15°C kożuch nie zamarzał wskutek wydzielania się ciepła podczas egzotermicznych procesów rozkładu substancji organicznych wewnątrz osadu. Dopiero przy wystąpieniu bardzo silnych mrozów, poniżej -20°C w lutym 1956 r., nastąpiło zamrożenie kożucha umożliwiające pracochłonne zdjęcie dużej jego części.

Mineralne dno jeziora z warstwy drobno- i średnioziarnistego piasku przykrywa kilkunastometrową

warstwę węgla brunatnego. Pod węglem znajdują się trzeciorzędowe piaski i ły, a już na głębokości 12 m pod węglem — skała kredowa.

Określenie fizycznych własności

Własności fizyczne górnej warstwy osadu określono w roku 1954 na podstawie wyników badań laboratoryjnych próbek pobranych z głębokości 0,5, 1,5 i 3,0 m.

Wyniki badań 21 próbek:

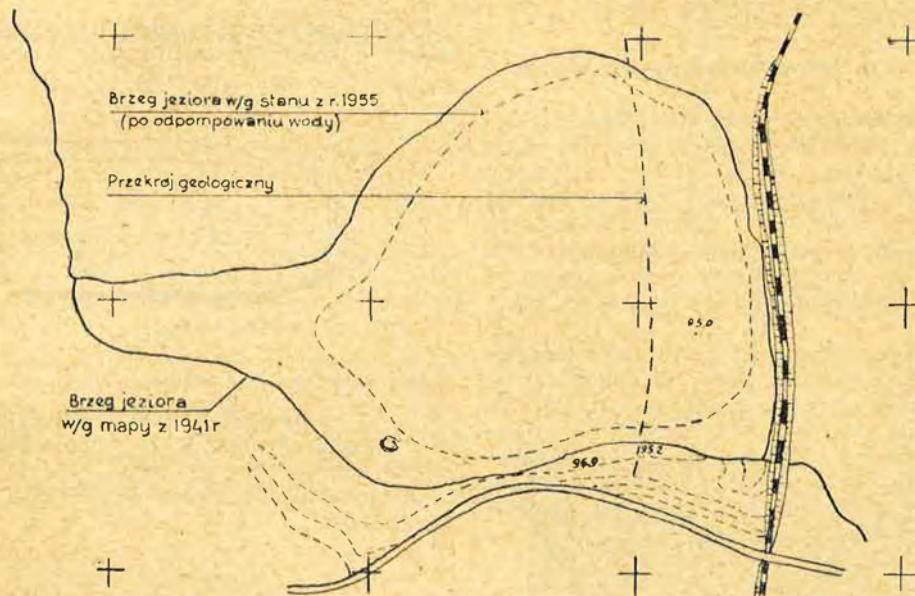
Barwa osadu,	szara
Sredni ciężar objętościowy	$\gamma = 1,29 \text{ kg/cm}^3$
Srednia wilgotność naturalna	$W_n = 80,4 \%$
Srednia granica płynności	$W_p = 76,5 \%$
Srednia granica plastyczności	$W_k = 51 \%$
Konsystencja gruntu płynna	$W_n > W_p$

Wskaźnik plastyczności $W = W_p - W_k = 76,5 - 51 = 25,5\%$ typował grunt do klasy wysokospójnych gruntów (części pylasto-koloidalne).

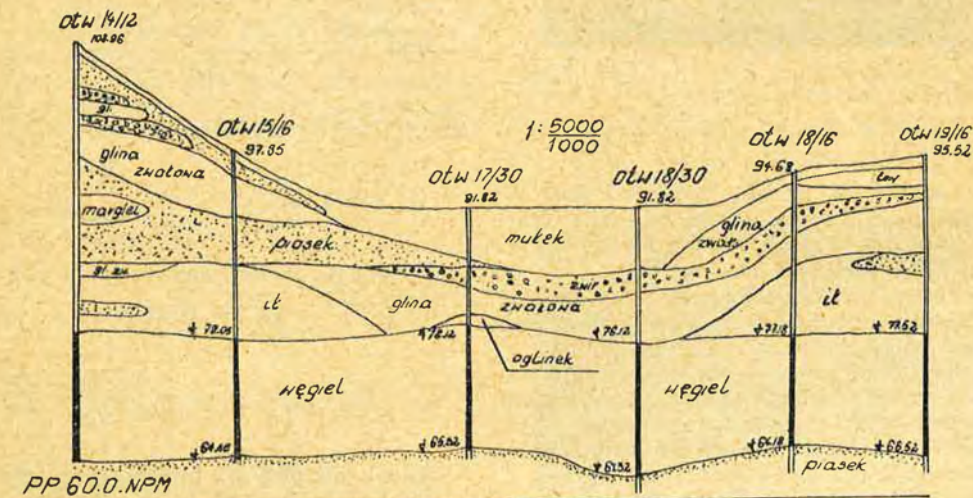
W gruntach tego typu już przy nieznacznych obniżeniach wilgotności poniżej granicy płynności następuje znaczny wzrost sił spójności (kohezji). Zjawisko to wystąpiło wyraźnie w osadzie z jeziora Niesłusz. Wskutek działania kopalnianych chodników odwadniających nastąpiło między rokiem 1954 a 1957 obniżenie jego wilgotności naturalnej z $80,4\%$ do $75-76\%$, tj. poniżej granicy płynności.

Osad miał wtedy strukturę gąbczastą, o małej urabialności. Wprowadzenie wody na powierzchnię jeziora celem zmniejszenia przyczepności osadu nie dało zamierzonego skutku — woda zostawała na powierzchni bardzo wolno wsiąkając i prawie nie zmieniając struktury osadu. Dlatego też wystąpiły olbrzymie trudności przy zasysaniu osadu spod zwierciadła wody.

Poza wyżej wymienionym osadem szarym spotkano również inne rodzaje osadu. W środkowej części pokładu występował w dwóch warstwach poziomych o miąższości 40—80 cm osad barwy czarnej, bardzo zwijęzły. Poddany działaniu strumienia wody rozpa-



Rys. 2. Plan sytuacyjny jeziora Niesłusz.
Podz. 1 : 5 000



Rys. 3. Przekrój poprzeczny geologiczny przez nieckę jeziora Niesłusz wg stanu z r. 1955

dał się na bryły o kształcie graniastosłupów, a następnie na podobne grudki o wymiarach kilku do kilkunastu cm.

Przy dnie zalegał osad o miąższości 80—100 cm barwy ciemnoszarej, tłusty, bardzo zwiezły, zailony, o małej wilgotności naturalnej. Odspojenie jego wymagało największych ilości wody. Strumień wody rozmywał go na płynną masę, podobnie jak osad szary.

Na pobrzeżach występował ponadto osad zapiaaszczony, o mniejszej spoistości i dużej zawartości korzeni. Granice płynności i plastyczności tego gruntu były znacznie niższe:

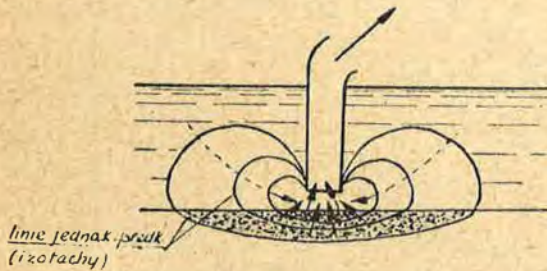
$$W_p \text{ — od } 18\text{—}21\%$$

$$W_k \text{ — od } 9\text{—}12\%$$

ZASYSANIE OSADU SPOD ZWIERCIADŁA WODY

Grunt ulega zassaniu, gdy ssak znajdzie się w dostatecznej bliskiej odległości od dna zbiornika wodnego. Woda znajdująca się w zasięgu zasysania wpływa do ssaka. Strumień wody porывa cząstki gruntu przewyciężając siły międzycząsteczkowe i siły ciężkości. Oprócz podciśnienia, motorem ruchu cząstek do ssaka są naprężenia styczne powstające na powierzchni ziaren gruntu wskutek przepływu wody między nimi.

Po zwiększeniu odległości od wlotu ssaka zmniejsza się prędkość przepływu wody. W odległości od wlotu równej średnicy ssaka prędkość jest 2,5—3,0 razy mniejsza niż w przewodzie ssącym. Do ssaka wpływają jednak wg Rozenfelda (7) str. 78, wyłącznie cząstki gruntu znajdujące się w strefie, w której prędkości są dostateczne dla pokonania sił zwieźłości gruntu i ciężkości (rys. 4).



Rys. 4.

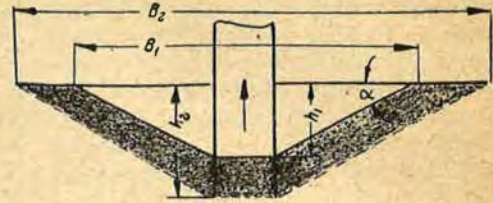
Wydatność odspajania gruntu zależy od jego fizycznych właściwości i od odległości od ssaka. Najłatwiej odspoić grunt sypki o małym ciężarze właściwym i średniej wielkości ziaren.

Dla zwiększenia wydajności pogłębiarek stosuje się w ZSRR spulchniacze do urabiania wszystkich gruntów prócz sypkich piasków.

Znaczny wpływ na zwiększenie wydajności ma kształt ssaka i jego położenie względem powierzchni gruntu. Najlepsze wyniki wg badań laboratoryjnych i doświadczalnych zyskuje się przy pionowym położeniu rury ssącej.

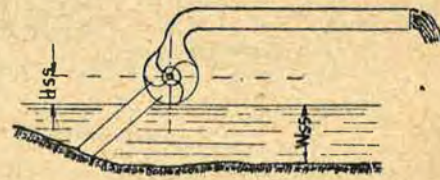
Zbyt duża prędkość ssania powyżej 2,5 m/sek powoduje zmniejszenie nasycenia cieczy gruntem. Najlepsze wyniki uzyskuje się przy prędkościach 1,8—2,5 m/sek.

Przy zasysaniu gruntów sypkich korzystne jest zagłębienie ssaka w grunt — występuje wtedy osuwanie się gruntu do ssaka (rys. 5).



Rys. 5.

Analizując warunki hydrauliczne pracy rury ssącej należy dokładnie rozróżnić pojęcie wysokości ssania i głębokości ssania (rys. 6).



Rys. 6.

Wysokość ssania

H_{ss} — to pionowa odległość między zwierciadłem wody a osią wirnika. Wg równania Bernoulliego dla cieczy rzeczywistej całkowita energia cieczy odniesiona do jednostki cieczy wynosi dla ruchu wolnozmiennego:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h_{str}$$

dla warunków zasysania spod zwierciadła wody

$$z_2 = H_{ss}; z_1 = 0; p_1 = p_b; v_1 = 0; p_2 = p_{ss} > p_{par}; v_2 = v_{ss}$$

$$\text{stad } \frac{p_b}{\gamma} - H_{ss} - \frac{v_{ss}^2}{2g} - \sum h_{str} > p_{par}$$

dla uproszczenia zakładamy $p_{par} = 0$

$$\text{wtedy } H < \frac{p_b}{\gamma} - \frac{v_{ss}^2}{2g} - \sum h_{str}$$

$$\text{dla } p_b = 760 \text{ mm Hg i } \gamma = 1,0 \text{ G/cm}^3$$

$$p_b/\gamma = 10,33 \text{ m s}l. \text{ w.}$$

$$H_{ss} < 10,33 \text{ m s}l. \text{ w.} - \frac{v_{ss}^2}{2g} - \sum h_{str}$$

Jednak już przy p_{ss} bliskim p_{par} zachodzi zjawisko zwane kawitacją, powodując powstawanie wżerów na powierzchni łopatek wirnika. Dlatego stosuje się w praktyce wysokości ssania mniejsze od teoretycznie możliwych, nie większe od 6—7 m.

Przy zasysaniu i tłoczeniu rozwodnionego gruntu zmniejsza się teoretyczna wysokość ssania H_{ss} i tłoczenia H_r ze względu na większe opory ruchu w porównaniu z przepływem czystej wody. Stosuje się redukcję tych wielkości wprost proporcjonalnie do stosunku ciężarów objętościowych wody γ_w i rozwodnionego gruntu γ_c , wg wzorów:

$$H'_{ss} = \frac{H_{ss} \cdot \gamma_w}{\gamma_c}$$

$$H'_r = \frac{H_r \cdot \gamma_w}{\gamma_c}$$

tak samo redukuje się nominalną wydajność pompy Q wg wzoru

$$Q_c = Q_w \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_c}$$

Głębokość zasysania

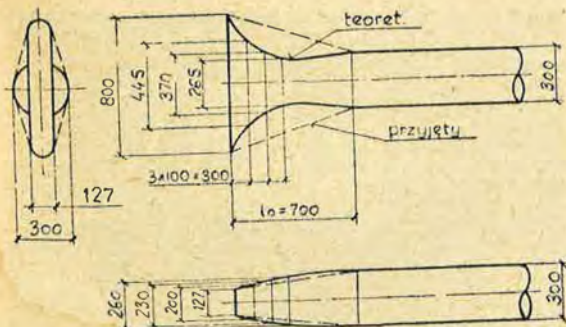
W_{ss} to pionowa odległość między ssakiem a zwierciadłem wody. W ZSRR nie stosuje się w zasadzie większych głębokości ssania od 14–15 m, maksymalnie 30 m. Straty ciśnienia są wtedy zbyt duże.

Dla zwiększenia wydajności trzeba bowiem dążyć do zmniejszenia strat ciśnienia, np. poprzez zwiększenie przekroju poprzecznego wzgl. skrócenie rury ssącej. Rozenfeld (7, s. 131) podaje, że zmniejszenie H_{ss} z 4,8 do 2,1 m spowodowało zwiększenie zawartości twardych cząsteczek gruntu w cieczy z 8,5% do 17,5%.

Stosowanie spulchniaczy

Rozluźnianie gruntów wykonuje się spulchniaczami hydraulicznymi lub mechanicznymi.

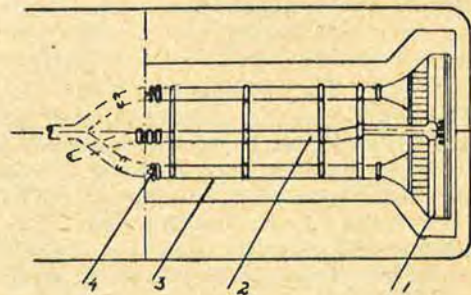
Metoda hydraulicznego spulchniania polega na wykorzystaniu działania energii strumienia wody pod ciśnieniem 5–8 atmosfer i prędkości wylotowej 10–15 m/sek. Obecnie jest ona rzadko stosowana ze względu na małe zagęszczenie cieczy pompowanej. Znacznie lepsze wyniki uzyskuje się przy zastosowaniu spulchniaczy mechanicznych, wyposażonych w zespół noży obracających się wokół wspólnej osi. Spulchniacz umieszcza się na ciężkiej ruchomej ra-



Rys. 7. Ustalenie teoretycznego kształtu ssaka dla pogłębiarki z jeziora Niestusz

mie razem z przewodem ssącym. Przy użyciu spulchniaczy mechanicznych stosuje się ssaki spłaszczone w stosunku max. 1 : 5 (spłaszczenie to stosunek wysokości do szerokości w płaszczyźnie wlotowej ssaka).

Przy użyciu spulchniaczy hydraulicznych spłaszczenie to wynosi w ZSRR: do 500 m³/h 1 : 30, powyżej 500 m³/h 1:40.



Rys. 8. 1-ssak szczelinowy, 2-rura doprowadzająca wodę, 3-rura ssąca, 4-połączenie elastyczne

Wyniki zasysania osadu z jeziora Niestusz

Zgodnie z wynikami badań laboratoryjnych z r. 1954 osad miał konsystencję płynną. Przyjęto zasysanie osadu z dna jeziora, po zalaniu go warstwą wody umożliwiającą poruszanie się pogłębiarki o napędzie linowym, zbudowanej sposobem gospodarczym z dwóch pontonów stalowych o wymiarach 9×1,8×1,0 m.



Rys. 9. Jezioro Niestusz przed usunięciem osadu — widok na pogłębiarkę i rurociąg pływający od strony wschodniej

W praktyce wystąpiły duże trudności przy zasysaniu osadu wskutek zmniejszenia jego naturalnej wilgotności W_n do 76%.



Rys. 10. Ssak z kolanem elastycznym na pogłębiarce z jeziora Niestusz

Ssak zaprojektowano spłaszczony w stosunku 1:6,33, wykonano jednak okrągły ze względu na trudności wykonawcze. Rura ssąca ϕ 300 mm wyposażona była w kolano elastyczne. Na pogłębiarce ustawiono pompę 8 NZ, produkcji ZSRR, o charakterystyce:

$$Q = 9,0 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$H = 27 \text{ m s\l. wody}$$

dopuszczalna wysokość ssania:

$$H_{ss} = 6,0 \text{ m}$$

rzeczywista:

$$H_{ss} \text{ wynosiła } \sim 1,0 \text{ m}$$

Osad przy konsystencji plastycznej miał strukturę gąbczastą, zwartą. Mała różnica między ciężarem objętościowym osadu $\gamma = 1,3 \text{ G/cm}^3$ i wody oraz duża spoiwość gruntu nie pozwalały na osuwanie się osadu do ssaka. Przy opuszczeniu rury ssącej ϕ 300 mm w głąb warstwy osadu następowało zasysanie osadu w promieniu 60–70 cm, tj. w odległości zaledwie 15–20 cm od rury ssącej. Po unieruchomieniu rury ssącej gwałtownie malała konsystencja pompowanego rozwodnionego gruntu — ssak zasysał prawie czystą wodę. W koloidalnym, galaretowatym osadzie nie występował prawie wcale ruch wody pomiędzy cząsteczkami gruntu powodujący powstanie naprężeń stycznych i porywanie cząstek gruntu do ssaka. Woda poruszała się wzdłuż ścian wytworzonego lejka do ssaka.



Rys. 11. Prowadzenie prac przy rozmywaniu osadu z pokładu pogłębiarki

Pogłębiarka wykonana sposobem gospodarczym (rys. 11) miała z konieczności napęd linowy ręczny, bardzo utrudniający jej poruszanie. Przesuwanie pogłębiarki następowało za pomocą 3 lin zamocowanych na brzegu do pachołków, a na pogłębiarce do wind budowlanych. Pogłębiarka nie mogła wykonać ruchu obrotowego (potrzeba wtedy 5 wind i 5 lin).

Napędu mechanicznego nie można było zastosować ze względu na płytką warstwę wody i na brak odpowiedniego sprzętu. Ogólnie rzecz biorąc, przy wydobywaniu osadu z dna stawów i małych jezior nie ma możliwości zastosowania ciężkiego sprzętu rzeczno-ego z napędem mechanicznym i ciężkim spulchniaczem. Specjalna budowa tych urządzeń sposobem gospodarczym przedstawia duże trudności wykonawcze i znaczny koszt inwestycyjny.

Zastosowanie spulchniaczy dla wstępnego rozluźnienia galaretowatego osadu nie daje korzystnych wyników. Na pogłębiarce zamontowano lekki spulchniacz mechaniczny działający z boku ssaka w odle-

głości osiowej 120 cm; powodował on jedynie rozbełtanie osadu, nie zwiększając w zasadzie wydajności.

WYNIKI ROZMYWANIA ODSŁONIĘTEGO OSADU Z JEZIORA NIESŁUSZ

Hydrauliczne podstawy procesu omówiono szczegółowo w artykule autora pt. „Hydromechanizacja robót odkrywkowych” przeznaczonym do druku w „Węglu Brunatnym” w jednym z najbliższych numerów.

Wskutek wystąpienia dużych trudności przy zasysaniu przeprowadzono z powodzeniem próbę rozmywania odsłoniętego osadu strumieniem wody pod ciśnieniem $H = 43 \text{ m s\l. w.}$ przed wylotem z nasadki. Zastosowano oddolny sposób prowadzenia robót, rozmywając osad początkowo z pogłębiarki strumieniem wody z węża strażackiego. Po wkopaniu się pogłębiarki w osad w środku jeziora do głębokości 7 m, w którym to najniższym położeniu tkwiła do końca prowadzenia robót, nastąpiło dalsze osuszenie osadu umożliwiając wprowadzenie wodomiotaczy z obu stron pogłębiarki w rosnącej stopniowo od niej odległości.

Początkowo stosowano wodomiotacz wykonany sposobem gospodarczym (rys. 12). Do kierowania wyrzutnią służyły dwa złącza ruchome, składające się z dwóch pierścieni mających wycięcia, w których poruszały się śruby łączące. Umożliwiały one wzajemny obrót elementów połączonych ze sobą o 55° . Ograniczone możliwości zmiany kierunku strumienia i duża waga części ruchomej powodowały duże przestoje w pracy, mimo pozytywnych wyników rozmywania.



Rys. 12. Wodomiotacz wykonany sposobem gospodarczym przy pracy



Rys. 13. Wodomiotacz prod. Cukrowni Racibórz

Nr. 4 (6)



Rys. 14. Rozmywanie osadu równocześnie przez dwa wodmiotacze



Rys. 15. Widok na pogłębiarkę w położeniu najniższym — widoczne rurociągi doprowadzające wodę do wodmiotaczy oraz rurociągi do mieszaniny gruntowej

W późniejszej fazie wykonawstwa zastosowano wodmiotacze produkowane przez Cukrownię Racibórz w cenie 5460 zł za sztukę, służące do wypłukiwania buraków cukrowych z wagonów (rys. 13). Najlepsze wydajności urządzenia uzyskiwano przy polewaniu powierzchni osadu szarego częścią stojącej do dyspozycji wody i podcinaniu skarp strumieniem wody pod ciśnieniem, przy dopływie odspojonego osadu do rząpia z małej odległości. Przy zwiększaniu oddalenia wodmiotaczy od pogłębiarki zmniejszała się procentowa zawartość cząstek stałych w pompowanej cieczy, wskutek ich wypadania podczas dopływu po dnie wykopu do rząpia pompy (rys. 14, 15). Dno jeziora miało wprawdzie spadek generalny zbliżony do wymaganego minimalnego spadku dna wykopu $i = 3\%$, lecz było nierówne i w lokalnych zagłębieniach następowało częste wypadanie stałych cząstek gruntu.

Tablica 1 obrazuje zależność wydajności pogłębiarki z jeziora Niesłusz od długości drogi dopływu do rząpia.

Tablica 1

długość drogi dopływu do ssaka	średnie rozcieńczenie	wydajność pogłębiarki dla osadu naturalnego w m ³ /godz.
20	1 : 11	130—140
60	1 : 13	110—120
100	1 : 15	90—100
130	1 : 17	80—90

Odspojony osad szary (stanowiący około 85% całkowitej objętości osadu) miał postać kłaczków o średnicy sięgającej kilku mm, które łatwo opadały na dno. Przeprowadzono badania w leju Imhoffa dla ustalenia ilości i szybkości opadania cząstek łatwo opadalnych — w ciągu 1 do 2 minut wypadało 98,2—99,7% wszystkich cząstek gruntu. Średnie uzyskane rozcieńczenie wynosiło 1 : 12—1 : 17. Przy wystąpieniu korzystnych warunków atmosferycznych tj. silnych opadów rozcieńczenie zmniejszyło się do 1 : 10. Występowało wtedy silne spływanie płynnego osadu szarego do ssaka, a na pobrzeżach pęknięcie kożucha roślinnego i charakterystyczne tarasowate (schodkowate) obsuwanie się skarpu mułowych.

Specjalny sposób odspajania zastosowano z konieczności przy odspajaniu osadu czarnego. Wyglądem swym przypominał on kauczuk. Strumień wody przechodził przez bryłę osadu złojąc otwór o średnicy równej średnicy strumienia wody, przy czym nie następowało w zasadzie obsuwanie się osadu lub rozszerzenie otworu. Dopiero „krajanie” bloku osadu strumieniem wody jak nożem na mniejsze bryłki i potem dodatkowo na małe grudki pozwoliło na jego usunięcie.

W końcowej fazie wykonawstwa wprowadzono do współpracy z pogłębiarką koparkę kroczącą typu „Drageline”, która odspajała grunt piaszczysto-mułowy z pobrzeży jeziora i podawała do wodmiotacza w pobliżu pompy. Również w tym wypadku osiągnięto korzystne wyniki techniczne i ekonomiczne.

Przy rozmywaniu gruntu stosowano ciśnienie przed wylotem z nasadki $H = 45$ — 50 m sł. w., a nasadki $\phi 60$ wzgl. $\phi 40$ stałe (niewymienne). Najlepsze wyniki uzyskiwano przy ustawianiu wodmiotacza w odległości 5—10 m od ściany wykopu. Przy większych odległościach następował duży spadek wydajności. Ciśnienie na grunt P_1 obliczone wg wzoru WNIOMS-u (radz.) wynosiło odpowiednio: dla odległości $l = 10$ m, $H = 45$ m sł. w.

a) przy nasadce o średnicy $D_{nas} = 40$ mm

$$P_1 = \left[\frac{80}{1/D_{nas} + 60} \right]^2 \cdot P_0 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

gdzie: $P_0 = 0,2 H$ (kg/cm²)

H — ciśnienie statyczne wody w m sł.w. przed wylotem z nasadki

l — odległość od nasadki w m

D_{nas} — średnica nasadki w m

$$P_1 = \left[\frac{80}{\frac{10}{0,04} + 60} \right]^2 \cdot 0,2 \cdot 45 = 0,60 \text{ kg/cm}^2$$

b) przy nasadce o średnicy $D_{nas} = 60$ mm

$$P_1 = \left[\frac{80}{\frac{10}{0,06} + 60} \right]^2 \cdot 0,2 \cdot 45 = 1,12 \text{ kg/cm}^2$$

Transport rozwodnionego osadu jeziorowego

Hydrauliczny transport osadu nie przedstawia problemu technicznego. Zużycie rur względnie koryt jest małe, straty ciśnienia nieznaczne. Cząsteczki

osadu zawieszony są podczas transportu w całym przekroju poprzecznym rurociągu.

W tabelicy 2 zestawiono wyniki uzyskane podczas transportu rozwodnionego osadu z jeziora Niesłusz, przy użyciu pompy 8 NZ ($Q_w = 9,0 \text{ m}^3/\text{min}$)

Tabelica 2

Oznaczenie	jedn.	uzyskane wyniki
wydajność Q_c	m^3/min	8,0—9,1
rozcieńczenie S	$\frac{\text{m}^3 \text{ wody}}{\text{m}^3 \text{ gruntu}}$	1 : 10—1 : 17
straty ciśnienia przy przepływie rozwodnionego gruntu i_c w stosunku do strat dla wody czyst. i_w	$\frac{i_c}{i_w}$	śr 1,13
prędkości v	m/sek	1,88—2,18
ciężar objętościowy γ_c	G/cm^3	1,10—1,21



Rys. 16. Wpływ mieszaniny gruntowej z rurociągu do zbiornika przy przepompowni

Zwałowanie osadu jeziorowego

Osad zwałowano w wyeksploatowanej odkrywcze Morzysław położonej w odległości 1140 m na wschód od jeziora Niesłusz. Po zamknięciu wałami przerwy w nasypach zwierciadło wody podniosło się do rzędnej wylotu rurociągu spustowego odprowadzającego wodę pod wałem do kanału Warta — Gopło. Powstał duży osadnik o pojemności około 660 tys. m^3 i długości około 900 m, o głębokościach dochodzących do 12 m. Osad jeziorowy osadzał się szybko blisko wylotu na dno, podnosząc się coraz wyżej, aż do zwierciadła wody. Po kilku miesiącach pompowania osadu promień zasięgu osadu wynosił około 80 m, przy czym konsystencja osadu w zasięgu tego promienia w całym przekroju poprzecznym była prawie identyczna jak osadu pompowego.

W wodzie czystej po przeciwległej od wylotu stronie osadnika nastąpiło znaczne zwiększenie zawartości amoniaku.

Efekty ekonomiczne hydraulicznego wydobywania i transportu osadu

Koszt wydobywania osadu z jeziora Niesłusz metodą hydrauliczną wyniósł 6,18 $\text{zł}/\text{m}^3$, a gruntu piaszczy-

stego 8 $\text{zł}/\text{m}^3$. Koszt odspojenia osadu metodami lądowymi w połączeniu z transportem wywrotkami wg kosztorysu odpowiedniego projektu wstępnego wynosił 50 $\text{zł}/\text{m}^3$, tj. około 8 razy więcej. Koszt odspojenia i transportu niemulowego nadkładu na odkrywce Niesłusz wynosił w r. 1958 10—30 $\text{zł}/\text{m}^3$ w zależności od rodzaju transportu.

WNIOSKI

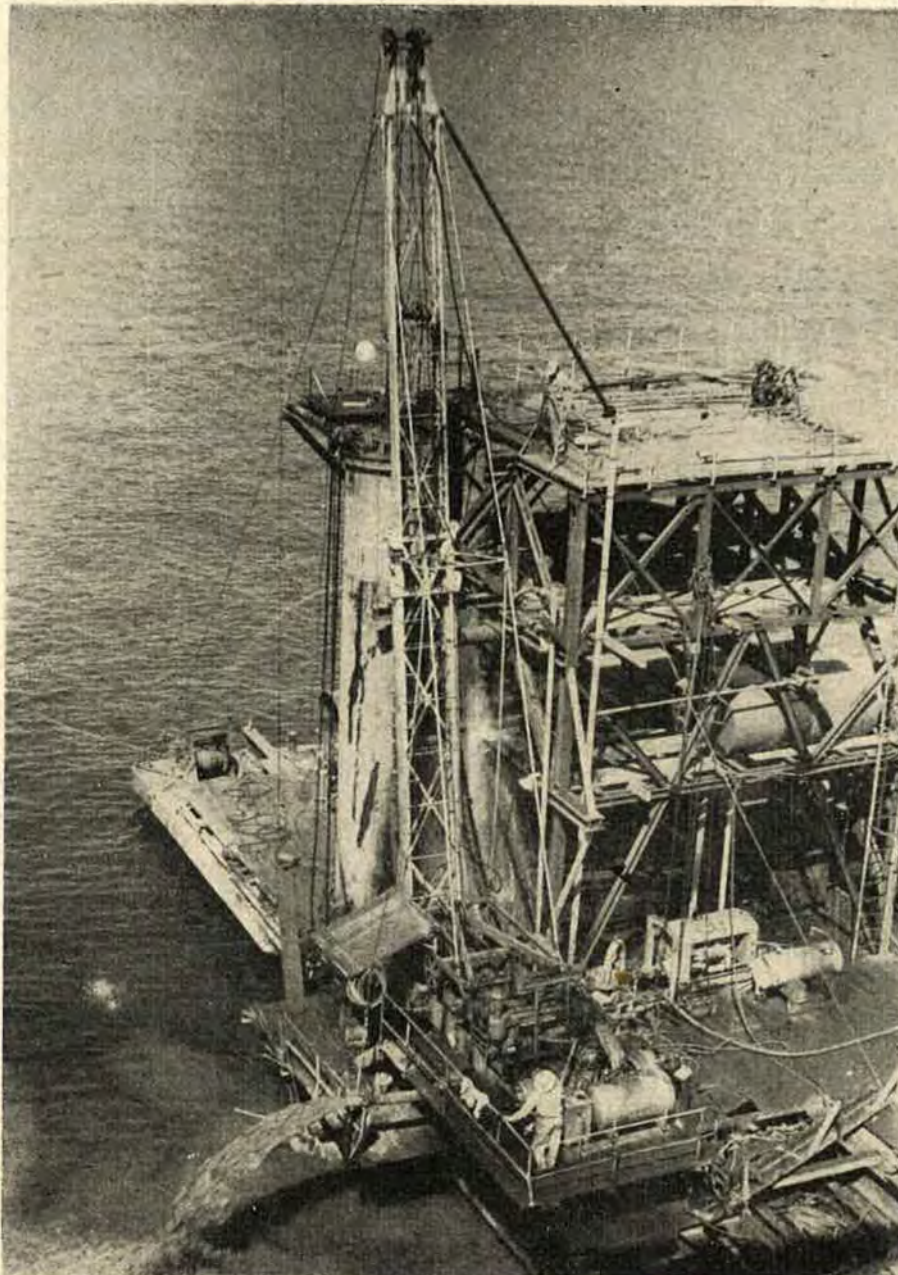
1. Hydrauliczne wydobywanie osadu jeziorowego o dużym wskaźniku plastyczności W_k wymaga dokładnego zbadania jego właściwości fizycznych i ewentualnie chemicznych, a zwłaszcza zmian zwięzłości i prędkości wypadania zawieszin łatwo opadalnych, z uwzględnieniem dynamiki zmian wilgotności.
2. W zależności od naturalnej konsystencji osadu odspajanie spod zwierciadła wody sprzętem gospodarczym może być bardzo łatwe (dla osadu płynnego), albo mniej lub więcej utrudnione (osad na granicy płynności lub plastyczny). Wydajność odspajania zależy w decydującym stopniu od wilgotności naturalnej. Przy dużej zwięzłości osadu wymagany jest ciężki sprzęt rzeczny, z urządzeniem spulchniającym i napędem mechanicznym.
3. Przy dużej zwięzłości osadu, gdy brak pogłębiarek rzecznych, uzyskuje się lepsze wyniki przy odsłonięciu osadu i rozmywaniu skarp z odległości 5—12 m strumieniem wody pod ciśnieniem 4—6 atmosfer o szybkości wylotowej 15—30 m/sek . Wymagany jest spadek dna wykopu dla zmniejszenia wypadania cząstek osadu podczas dopływu do rzepia.
4. Transport tłoczny rozwodnionego osadu nie przedstawia problemu — potrzebne małe prędkości tłoczenia $v = 1,5—2,0 \text{ m}/\text{sek}$, spadki ciśnienia przy przepływie cieczy tylko o 10—15% większe niż przy przepływie czystej wody. Przy odspajaniu osadu pylasto-koloidalnego z dna wykopu lądowego uzyskiwane rozcieńczenie wynosi od 1 : 10—1 : 17.
5. Po wprowadzeniu do osadnika (na zwałowisko mokre) osad opada szybko na dno, podnosząc się stopniowo aż do zwierciadła wody. Po przepompowaniu dużej ilości osadu koncentracja cząstek stałych jest w całym przekroju osadnika podobna do koncentracji osadu w rurociągu tłocznym.
6. Hydromechanizacja usunięcia płynnego osadu ze stawów i jezior jest jedyną metodą wykorzystującą dużą naturalną wilgotność osadu i wykluczającą straty objętości płynnego osadu przy transporcie. Przy użyciu np. samochodów-wywrotek następuje wylewanie płynnego osadu podczas transportu na odkład.
7. Koszty hydraulicznego wydobywania i transportu płynnego osadu w porównaniu z wykonawstwem tych prac metodami lądowymi są kilkakrotnie niższe. Koszt wydobywania 1 m^3 osadu naturalnego z jeziora Niesłusz wyniósł 6,18 $\text{zł}/\text{m}^3$.

Literatura

1. Anikiejew I. J.: Gidromechanizacja na karierach promyslnosti stroitielnych materialow 1956.
2. Czerkasow: Melioracija i sielskochozajstwiennojie wodonasabzenije 1950.

Nr. 4 (6)

- | | | | |
|----------------------|---|--------------------------|--|
| 3. Jufin A. P.: | Napornyj gidrotransport 1950. | 9. Szeszko E. F., | Sprawocznik po stroitelstwie ugodnych |
| 4. Panasienko A. D., | Miechanizacija gidromelioratiwnych ra- | Samotriasow M. A., | karierow 1952. |
| 5. Roer G. N.: | bot 1950. | Siemiaszko A. T.: | |
| | Gidrawliczeskije razczety gidrotransporta | 10. Sulima-Samujilo J.: | Górnictwo odkrywkowe cz. II, 1956. |
| | grunta 1952. | 11. Tierstiepanow G. A.: | Gidromonitornyje raboty 1948. |
| 6. Roer G. H., | Gidromonitorszczyk 1949. | 12. Znamenskij I. I.: | Organizacija i miechanizacija gidrome- |
| 7. Nikonow G. P.: | | | lioratiwnych rabot 1952. |
| 8. Rozenfeld F. A.: | Ziemiesosnyje snarjady 1953. | | |
| 8. Rucki R.: | Hydromechanizacija robót ziemnych 1954. | Otrzymano 10.VII.1960. | |



Rys. 10. Wiercenia ssące dla osadzenia pali pod most
na zatoce morskiej w Wenezueli
(wiertnica PS-150, na pontonach z pomostami dla opuszczania rur)