

ANDRZEJ DRĄGOWSKI, JOANNA PINIŃSKA-KRAJEWSKA

Uniwersytet Warszawski

## NAMYWANIE POPIOŁÓW W STAWACH OSADOWYCH

UKD 628.544:662.613.1.002.68:552.143:628.334.613

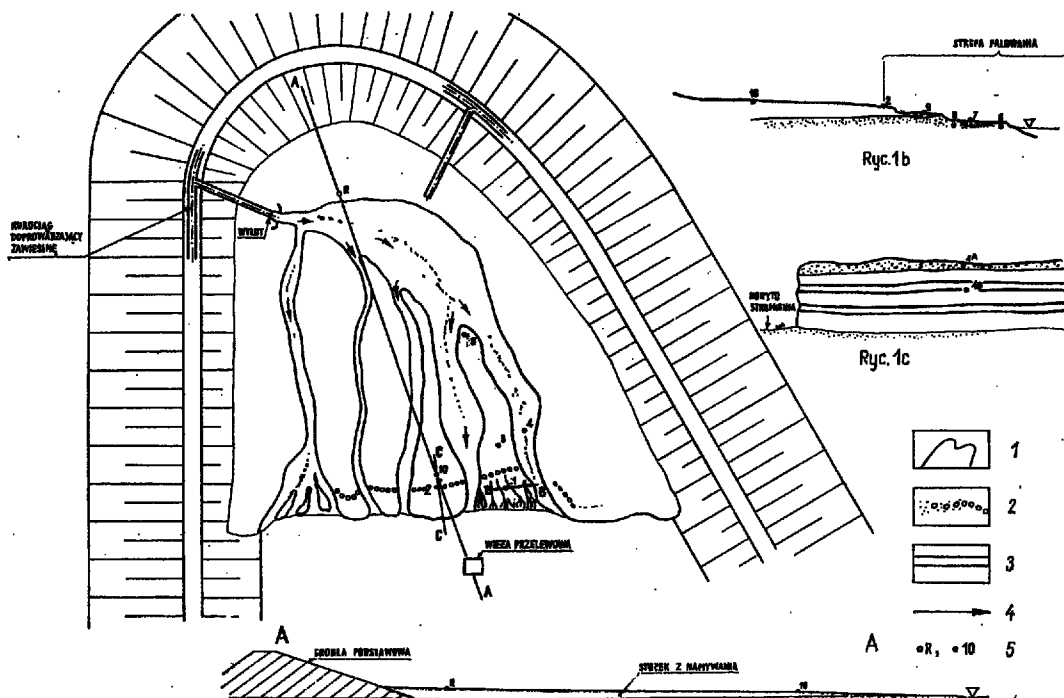
Rozważania dotyczące składowania przemysłowych materiałów odpadowych coraz częściej znajdują wyraz w opracowaniach naukowych. Dotyczą różnych aspektów tego rozległego zagadnienia: sposobu składowania, rodzaju materiału, stateczności, warunków technologicznych itp.

Rozwój elektrowni ciepłych stwarza problemy związane ze składowaniem popiołów i żużli. Materiały te w większości przypadków transportowane są hydraulicznie i zsedymetowane w stawach osadowych. Ekonomia właściwego wykorzystania terenu, przeznaczonego na składowisko powoduje, że dąży się do maksymalnego podwyższenia grobli, wykorzystując stopniowo do budowy materiał zdeponowany w stawie osadowym. W tym przypadku poza własnościami podłoża gruntowego na stateczność budowli wywierają wpływ własności fizyko-mechaniczne osadzonego materiału — uwarunkowane sedimentacją osadu (technologią namywania, reżimem hydrogeologicznym w

stawie itp.) oraz zmianami fizyko-mechanicznymi, jakim osadzony materiał podlega w czasie.

W pracy zajęto się wąskim dość wycinkiem tej problematyki: zagadnieniem przebiegu sedimentacji popiołów i żużli w stawach osadowych. W trakcie badań terenowych zauważono bowiem, że te sztucznie w procesie technologicznym powstałe utwory, podlegają ogólnym prawom sedimentacyjno-diagenetycznym, obowiązującym dla gruntów naturalnych. Wiele aspektów ich zachowania i możliwości utylizacji wyjaśnić można poprzez znajomość warunków sedimentacji — mających swe odzwierciedlenie w sposobie ułożenia ziarn w osadzie, a więc w jego teksturze.

W celu bliższego zaznajomienia się z procesami sedimentacyjnymi dokonano przeglądu stawów osadowych popiołów i żużli poenergetycznych elektrowni: Halemba, Łaziska, Blachownia Śl., Skawina. Były to zbiorniki nadpoziomowe, o różnym stopniu wypełnienia osadem i o różnym systemie odprowadzania wód

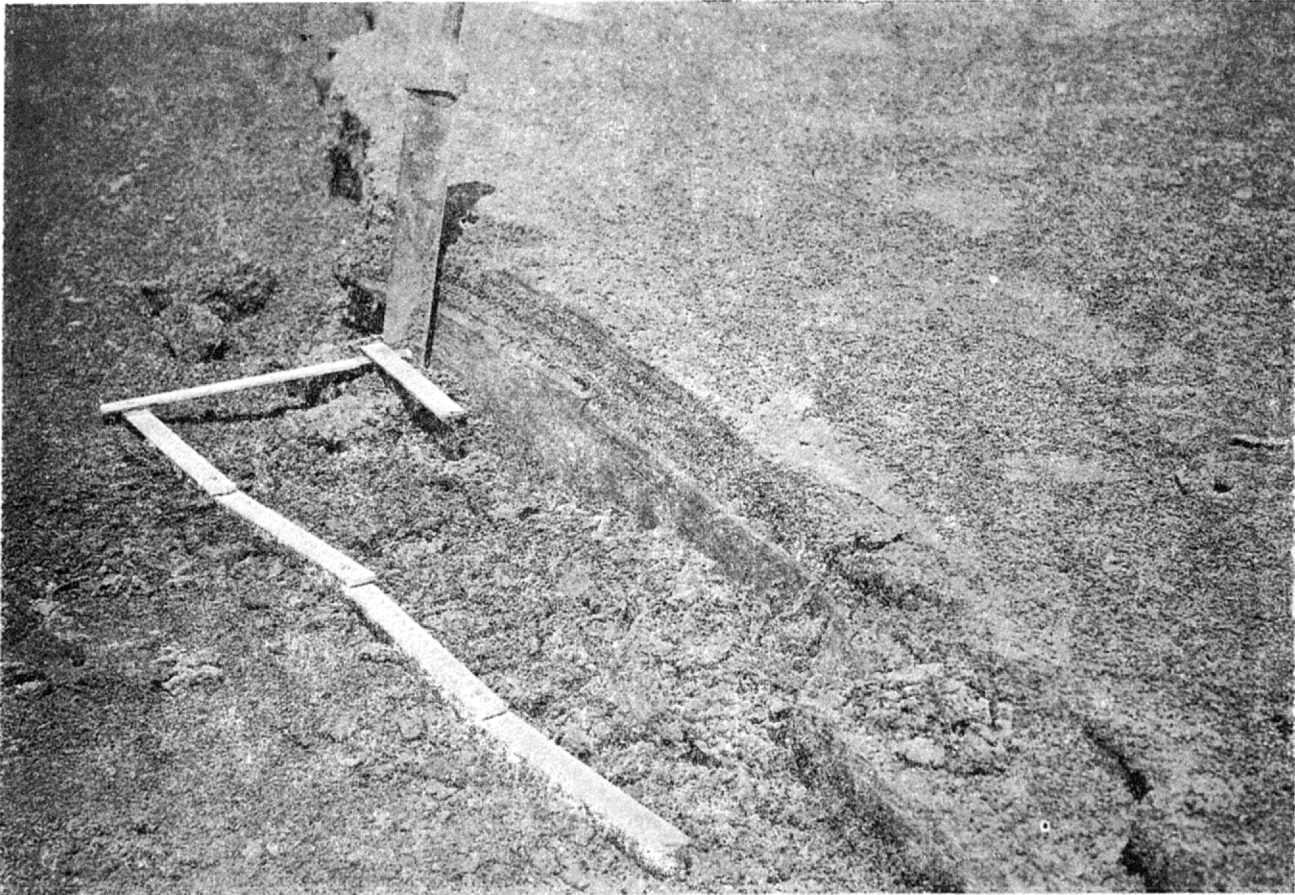


Ryc. 1a. Schemat rozkładu głównych prądów w stożku przy namywaniu jedną rurą. Składowisko — Łaziska.

1 — mielizny, 2 — utwory o granulacji piaszczysto-żwirowej, 3 — utwory o granulacji piaszczystej i pyłowej, 4 — kierunek prądów, 5 — miejsca pobrania próbek.

Fig. 1a. Scheme of distribution of main streams above sediment cone during supply of the material by one tube. Sedimentary reservoir at Łaziska.

1 — shoals, 2 — sandy-gravel fractions, 3 — sandy-silty fractions, 4 — directions of streams, 5 — sampled points.



Ryc. 2. Krawędź koryta strumienia rozprowadzającego materiał.

Fig. 2. Margin of material distributing channel.

poosadowych, jak również przy różnym zaawansowaniu podwyższania zapór. Zapory wykonywane były, bądź to z materiału rodzimego (groble podstawowe), bądź też z popiołów.

Z najmłodszym osadnikiem — rozpoczynającym swą pracę, spotkano się w Łaziskach. Namywanie prowadzono tam poprzez rurę o  $\varnothing$  30 m usytuowaną w narożu osadnika. Był to w danym okresie jedyny punkt doprowadzający pulpę — tak że powstały stożek można uznać za przykładowy. W ciągu pół roku namyty został stożek o powierzchni ok. 3500 m<sup>2</sup> i nieznacznym pochyleniu ok. 2° w kierunku spływu wody. W ciągu tego okresu gęstość pulpy i prędkość jej wypływu z rury ulegała nieznacznym wahaniom. Stosunek materiału niesionego do wody wynosił w pulpie 1:20. Na ryc. 1 pokazano schemat rozkładu strug wodnych i materiału na powierzchni stożka.

Główny strumień kontynuujący początkowo kierunek osi rury, skręcał następnie ku bocznej ścianie zbiornika, powodując czasem jej podcięcie i rozmywanie. Od tej głównej strugi oddzielało się szereg mniejszych strug spływających bezpośrednio ku podstawie stożka. Ujście głównej strugi miało charakter silnie rozwiniętej delty. Szereg mniejszych strumieni odrywało się kolejno od głównego kierunku nurtu spływając najkrótszą drogą po stożku do poziomu wody w osadniku. Strumienie rozdzielone były szeregiem „mielizn” — odsypów. Głębokość koryta strumieni wynosiła od kilku do kilkunastu cm. Brzegi były pionowe z wyraźnie zaznaczoną krawędzią (ryc. 2), a dno koryta płaskie o zmiennej szerokości. Charakter rozłożenia prądów w stożku uwarunkowany był położeniem wylotu rury doprowadzającej pulpę i w przypadku namywania osadu poprzez kilka rur, nastąpiłoby zaburzenie tego schematu.

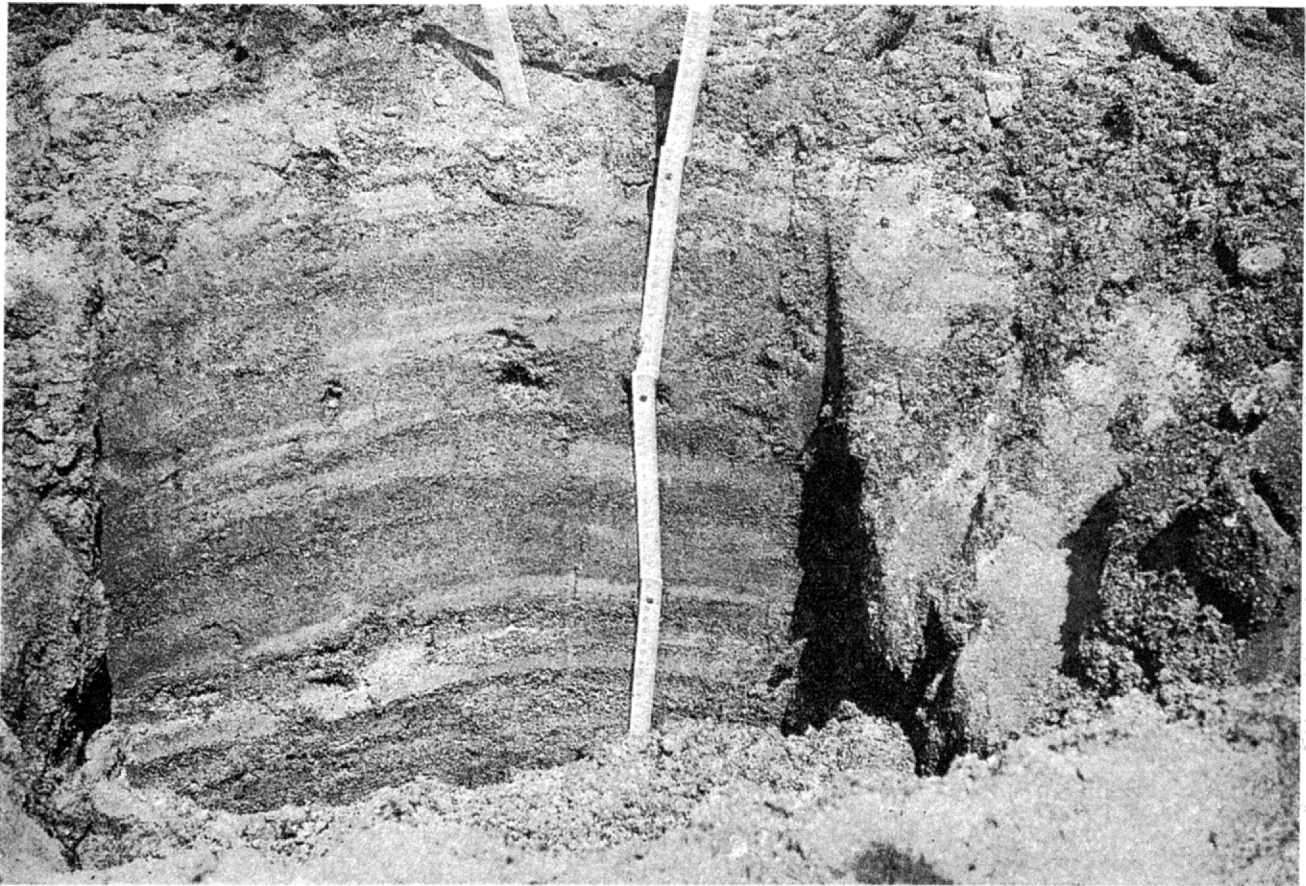
Przenoszenie zawiesiny popiołu poprzez strugę ułatwia niski ciężar objętościowy popiołów  $< 1 \text{ G/cm}^3$

i materiał może być transportowany na znaczne odległości, mimo przeciążenia strugi. W efekcie usypywany stożek posiada znacznie większy promień niż obserwuje się to dla osadów poflotacyjnych siarki (1) lub dla naturalnych gruntów sypkich rodzimych.

Odłożony materiał posiada teksturę warstwowo-smugową, złożoną z naprzemianległych poziomych warstewek jaśniejszych i ciemniejszych, o miąższości kilku do kilkunastu cm. Warstewki jasne zbudowane z materiału drobniejszego, pylastego posiadają ponadto mikrolaminy (ryc. 3), warstwy ciemne — piaszczyste zdają się być monowarstwowe. Ten typ sedymentacji obserwuje się na obszarze całego stożka. Na uwagę zasługuje fakt, że na powierzchni „mielizn” występują warstwy jasne, warstwy ciemne odsłaniają się w dnach strumieni, tak więc strugi łatwo rozcinają warstwy drobniejsze, nie naruszając na ogół ciemniejszych o grubszej granulacji. Na dnie cieków obserwuje się występowanie ziarn lekkich, żuźlowatego materiału, o granulacji żwirów.

Jak wspomniano, część nadwodna stożka jest bardzo płasko nachylona (ryc. 1a) i jedynie w zasięgu strefy falowania wody ok. 1,5 m od linii brzegowej nachylenie jest nieco większe i wynosi 8–10°. Powierzchnia tej części stożka opada schodkowo, ekspozując granice poszczególnych warstewek (ryc. 1b). Lokalnie osadza się tam także materiał o najmniejszym ciężarze objętościowym (cząstki węgla, silnie porowate agregaty żużla). W rejonach delty osadzany jest materiał o bardzo drobnej i jednolitej granulacji (ryc. 1c). W strefie falowania obserwuje się drobne sączenie wody na stropie warstewek pylastych złobiących dalsze rowki. Całość linii brzegowej jest urozmaicona. Część podwodna stożka zachowuje kąt ok. 10° na przestrzeni ok. 0,5 m, dalej stromo opada.

Jak wynika z badań granulometrycznych (tab. I, ryc. 1), na powierzchni stożka w kierunku od wylotu



Ryc. 3. Naprzemianległe ułożenie osadów o granulacji piaszczystej i pylastej.

Fig. 3. Alternations of sediments of sandy and silty fractions.

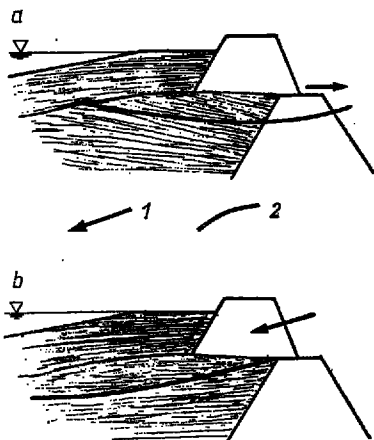
ZESTAWIENIE BADAŃ UZIARNIENIA POPIOŁÓW NA POWIERZCHNI STAWÓW W ŁAZISKACH

Tabela I

| Nr próbki | Nazwa gruntu wg normy   | Wskaźnik nierównomierności uziarnienia $d_{60}/d_{10}$ | C. wł. $G/m^3$ | Straty prażenia % | Występowanie   | Uwagi  |
|-----------|-------------------------|--|----------------|-------------------|--|--|
| 1 A       | piasek średnioziarnisty | 6,2 — nierównościarnisty                               | 2,02           | 30,19             | warstewka stropowa w obszarze delty                              |  |
| 1 B       | piasek pylasty          | 1,6 — równościarnisty                                  | 2,15           | 9,94              | typowy osad deltowy  | jasnoszary, miękkoplastyczny, materiał predysponowany jako powierzchnie poślizgu |
| 2         | żwir                    |  | 1,29           | 15,10             | lokalnie w zasięgu maksymalnego falowania                        | materiał żuźłowaty unoszony w strefie falowania                                  |
| 3         | pył piaszczysty         | 2,0  | 1,66           | 11,47             | na terenie całego stożka w obrębie odsypów                       | warstwa jasnoszara drobnego materiału  |
| 4         | piasek drobnoziarnisty  | 4,2  | 2,45           | 6,87              | dno strumienia   | warstwa ciemna   |
| 5         | piasek pylasty          | 3,2  | 2,11           | 6,33              | na terenie całego stożka w obrębie odsypów                       | warstwa jasna  |
| 6         | piasek gruboziarnisty   | 4,2  | 1,98           | 22,45             | lokalnie osadzone lekkie osady w strefie przybrzeżnego falowania | barwa czarna, ostrokrawędziste ziarna z subst. węglową                           |
| 7         | piasek drobnoziarnisty  | 1,9  | 1,71           | 22,52             | lokalnie osadzone w strefie brzeżnej                             | barwa jasnoszara   |
| 8         | pospółka                | 10   | 1,86           | 27,24             | strefa brzeżna — w zasięgu falowania                             | barwa czarna, ostrokrawędziste ziarna z subst. węglową                           |
| 9         | piasek drobnoziarnisty  | 1,5  | 1,66           | 15,63             | strefa brzeżna   | barwa jasnoszara   |
| 10        | piasek pylasty          | 4,0  | 2,09           | 14,18             | na terenie całego stożka w obrębie odsypów                       |  |

BADANIA UZIARNIENIA POPIOŁÓW W SKAWINIE

| Nr strefy | Nazwa gruntu           | Wskaźnik uziarnienia | C. wł. G/cm <sup>3</sup> | C. obj. G/cm <sup>3</sup> | Straty prażenia | Opis makroskopowy   |
|-----------|------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------|---|
| I         | pył piaszczysty        | 2                    | 2,55                     | 0,56                      | 5,25            | drobny, pelityczny, jasnoszary materiał                     |
| II        | piasek różnoziarnisty  | 6                    | 2,05                     | 0,46                      | 11,22           | zróżnicowany granulometrycznie (od fr. żwirowej do pyłowej) |
| III       | pył piaszczysty        | 1,3                  | 2,22                     | 0,60                      | 4,26            | jasnoszary monoziarnisty, jednorodny materiał               |
| IV        | piasek drobnoziarnisty | 4,2                  | 2,11                     | 0,56                      | 8,75            | jasnoszary materiał z wtrąceniami żużla o frakcji żwirowej  |



Ryc. 4.

Fig. 4.

rury do jego podnóża trudno stwierdzić zróżnicowanie uziarnienia o charakterze ciągłym. Występują tu głównie popioły o granulacji piasków pylastych i pyłów piaszczystych (próbka 3, 5, 10) podścielone utworami o granulacji piasków drobnoziarnistych, które odsłaniają się w dnach strumieni (próbka 4). Sporadycznie napotyka się poprzeczne ciągi o granulacji żwirów (próbka 2) pozostawione przez duże fale. Strefa brzeżna stożka jest rejonem zróżnicowania granulometrycznego materiału od granulacji typu: pyłów piaszczystych w rejonach głównych delt (próbka 1B) po granulację typu piasków gruboziarnistych i pospółki występującej lokalnie w strefach falowania (próbka 6, 8). Zróżnicowanie to uzależnione jest od zawartości części organicznych, która ku brzegowi stożka wyraźnie rośnie.

W przekroju pionowym rozkład uziarnienia zbadano w punkcie R (ryc. 1a). Wykazuje on wzajemne przewarstwienie się utworów o granulacji piasków drobnoziarnistych i pylastych, równoziarnistych (wskaźnik uziarnienia rzędu 2). Sporadycznie spotyka się warstewki o zawartości frakcji żwirowej do  $\approx 10\%$ . Uwarstwienie jest poziome, a granice między warstewkami wyraźnie widać makroskopowo.

Warstwowo-smugową teksturę utworów wyraźnie obserwuje się także na odkrytych ścianach starych osadników w Blachowni Śl. i Skawinie na dużej przestrzeni i znacznych głębokościach. Obserwowano także w wielu przypadkach zaburzenia sedymentacji o różnej genezie: bądź to wynikające z różnego ciężaru właściwego namywanego osadu, bądź powstałe w wyniku erozyjno-akumulacyjnej działalności strug, bądź spływów w strefach brzeżnych osadnika. Tworzą one mikrostruktury w obrębie warstw o większej miąższości.

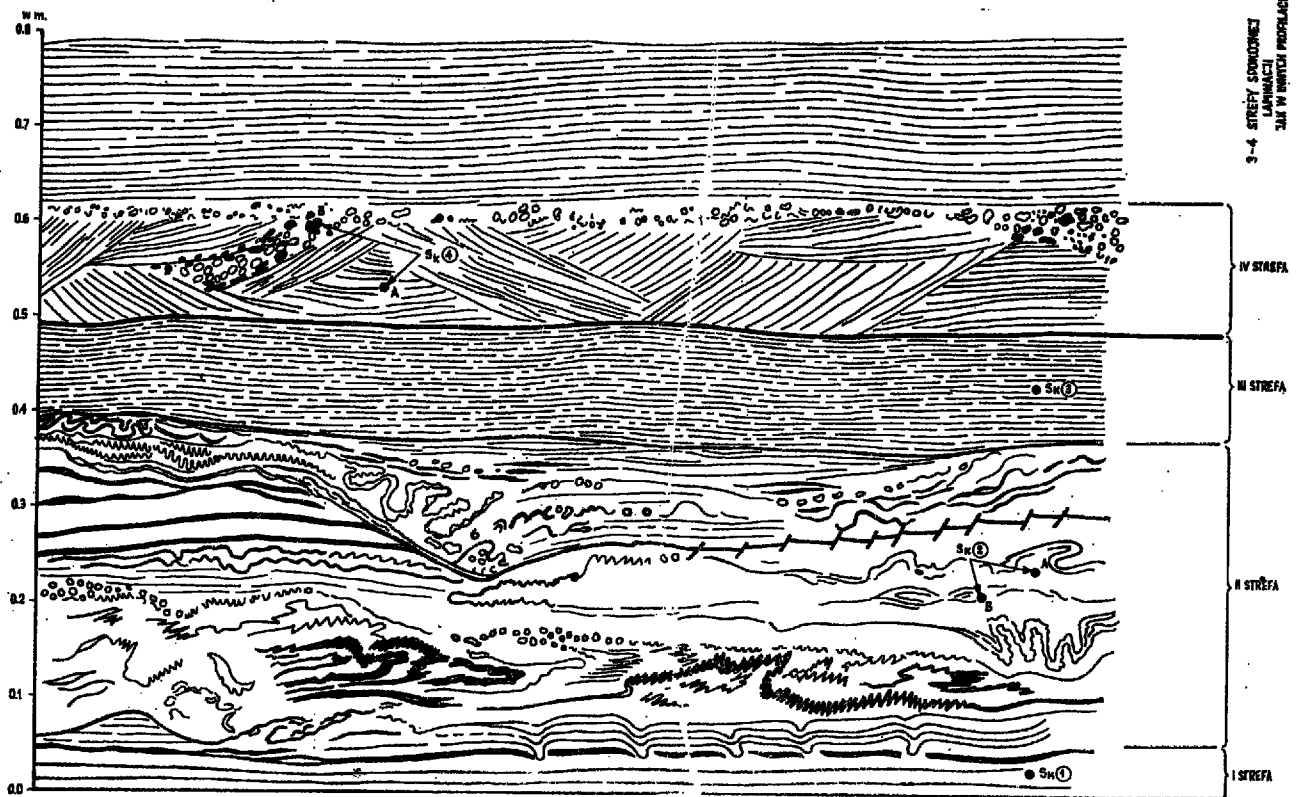
Analizując profil osadów w Skawinie (ryc. 5) zauważa się, że ponad strefami zaburzonymi, zawierają-

cymi znaczne ilości części organicznych o zróżnicowanej granulacji, występują kolejno strefy związane ze spokojną sedymentacją, o granulacji pelitycznej i jednorodnej, a następnie krzyżowo-warstwowane osady o granulacji psamitowej. Nie zmienia to jednak generalnie poziomego uwarstwienia sedymentu, a jedynie świadczy, że powyżej strefy deltowej stożka nastąpiło zahamowanie dopływu materiału, a następnie kolejny znaczny dopływ sedymentu, który przesunął jego brzeg znacznie dalej. Wyniki badań uziarnienia podaje tab. II.

Osadzony w zbiorniku materiał podlega procesom diagenetycznym prowadzącym do jego zestalenia. Już w trakcie namywania osad ulega zagęszczeniu w wyniku filtracji i osadzania się wody (co stwierdzono laboratoryjnie dla popiołów z Łazisk), jak również pod wpływem obciążenia stopniowo przyrastającymi warstwami nadległymi, a po całkowitym zapełnieniu stawy osadowego materiał ulega wysuszeniu.

Procesy diagenetyczne prowadzą do zmian własności fizyko-mechanicznych osadu. Z jednej strony zwiększa się szczerłość i wytrzymałość samego materiału, z drugiej strony powstawanie spękań otwiera nowe drogi dla krążenia wód i osłabia wytrzymałość masywu. Poprzez utratę wody wolnej materiał staje się zwarty. W strefie przypowierzchniowej natomiast uwidaczniają się pionowe lub lekko nachylone spękania. Cykliczne zmiany wilgotności, pęcznienie i skurczenie materiału prowadzi do dalszego rozwoju tych szczelin. Jak obserwowano na powierzchni starego ok. 10-letniego składowiska w Skawinie, głębokość szczelin dochodziła do 1,0 m, szerokość do 20 cm, a w odsłonięciu wcinającym się ok. 4 m w zdeponowany osad, obserwowano wyraźną bloczność materiału podobną do obserwowanej w łożach krakowieckich. Oddzielność blokowa związana była z poziomym warstwowaniem osadu oraz pionowymi spękaniami. Regularne, prostopadłościowe bloki o gładkich powierzchniach ulegały rozpadowi w wyniku uderzenia lub dalszego wysuszenia. Obserwowane szczeliny były drogami krążenia wód infiltracyjnych. Wysięki wód obserwowano szczególnie na granicy warstw o różnych własnościach filtracyjnych. Opisane procesy dezintegracji materiału i nawilgocenia szczelin ułatwiają wdzieranie się roślinności, która wykorzystuje szczeliny dla swej wegetacji, zmieniając charakter środowiska.

Podsumowując należy stwierdzić, że deponowane w osadniku popioły i żużle mają wyraźnie warstwowy charakter, z niewielkim pochYLENIEM powierzchni stożka 2–3°, a stożek jest wyraźnie wydłużony i płaski ze względu na niskie wartości ciężaru właściwego cząstek. Makroskopowo są to naprzemianległe warstwy ciemne i jasne odpowiadające granulometrycznie piaskom pylastym i pyłom piaszczystym. Z natury warstwowanie ich jest poziome na znacznych obszarach, jako wynik kolejnych przyrostów poziomu materiału w zbiorniku, uwarunkowanych wahaniami w dopływie materiału i położenia zwierciadła wody w stawie osadowym oraz zmianami położenia strug.



Ryc. 5. Profil osadów w Skawinie.

Fig. 5. Section of sediments from Skawina.

I strefa — osad o granulacji pyłu, laminowany, barwy jasnoszarej z pojedynczymi laminami o granulacji pyłów piaszczystych ciemnoszarych z zawartością części organicznych. Stropowa partia osadu zaburzona — całość sedimentacji spokojna pozioma, występowały lamin co 0,5 cm (pobrano próbkę Sk-1).

II strefa — osad o granulacji piasku pylastego z wkładkami utworów o charakterze pyłów i pyłów piaszczystych oraz części organicznych barwy czarnej o miąższości do 1 cm. Strefa z wyraźnie niespokojną zaburzoną sedimentacją, z występowaniem spływów, nierównomiernych osadań gęstościowych itp. W części stropowej wzrasta udział żużla o znacznej średnicy, maleje intensywność zaburzeń. Kontakt powierzchni stropowej z warstwą nadległą ma charakter nieciągły wskazujący na przerwę sedimentacji (pobrano próbkę Sk-2).

III strefa — osad jednorodny o charakterze pylastym, sedimentacja spokojna bez śladu zaburzeń (pobrano próbkę Sk-3).

IV strefa — osad o charakterze piasku drobnego i piasku średniego przewarstwiony żużlem, przekątnie warstwowy. Znaczny udział węgla w osadzie (pobrano próbkę Sk-4 — A i B).

Ist zone — laminated, light-gray sediment composed of silt fraction grains, with single dark-gray laminae of sandy silts with some contribution of coal particles. Top part of the sediment is disturbed, whereas the whole remaining part is undisturbed and horizontally laminated; laminae about 0.5 cm thick. Here sample Sk-1 was taken. IInd zone — silty sand with intercalations of silts and sandy silts and some admixtures of black coal particles; intercalations up to 1 cm thick. The zone is characterized by markedly disturbed deposition conditions. Deformations involved flows, disturbances related to differences in volume weight, etc. In the top part of the sediment there is an increase in contribution of slag particles of fairly large diameter; it is accompanied by a decrease in the intensity of disturbances. Contact between the top surface of the above discussed layer and the sole surface of the next layer indicates break in sedimentation. Here sample Sk-2 was taken.

IIIrd zone — homogenous silty sediment. Calm deposition; no traces of disturbances. Here sample Sk-3 was taken.

IVth zone — fine to medium-grained sand with intercalations of slag and with cross-bedding. Marked contribution of coal particles in the sediment. Here samples Sk-4 A and B were taken.

Rozważania powyższe natury sedimentacyjnej mają znaczną wagę dla oceny deponowanych popiołów jako podłoża przy nadbudowie skarp lub tworzenia zbiorników nazwałowych. Występowanie warstewek monofrakcyjnych o charakterze pelitycznym, silnie i łatwo się upłynniających, lekko nachylonych stanowi potencjalne powierzchnie poślizgu (ryc. 4), ze względu na ich niewielki współczynnik tarcia. Niebezpieczeństwo wzrasta szczególnie w strefach deltowych, gdzie nachylenie i miąższości wkładek są większe. Istotny jest także specyficzny drenaż wód. Zbiornik nazwałowy prowadzi do nawodnienia utworów podłoża. Drożne dla wody warstwy ciemne, o znacznej zdolności filtracyjnej  $10^{-3}$  cm/s przy krzyżowym przetrkaniu się utworów — stają się niejako „kieszonkami” stwarzając dodatkowe parcie wody i możliwość upłynnienia warstw jasnych i w zależności od pochylenia

warstewek spowodować osunięcie na zewnątrz (4a) lub do wewnątrz (4b) zbiornika.

Ponieważ główną rolę w roznoszeniu materiałów odgrywa struga, w której zawieszony jest osad, toteż od kierunku usytuowania wylotów rur dostarczających pulpę zależy rozkład sedimentu w zbiorniku. Istotne wydaje się więc by można było kierować nim w sposób zamierzony. Wyloty rur doprowadzających pulpę powinny być rozmieszczone równomiernie na obwodzie stawu osadowego tak, aby poszczególne stożki zazębiały się wzajemnie. Ze względu na osadzanie się materiału pelitycznego w obszarach deltowych należy unikać długotrwałego namywania jednego stożka. W wyniku prawidłowego namywania poszczególnych stożków powinno się otrzymać prawie płaską powierzchnię załadowania stawu osadowego.



## LITERATURA

1. Glazer Z. i in. — Inżyniersko-geologiczna ocena warunków wykonania osadników poflotacyjnych dla Kopalni i Zakładów Przetwórczych Siarki w Machowie. Arch. Z.P.G. UW, 1968.
2. Glazer Z., Domagała, Drągowski A., Ka-

## SUMMARY

The field studies showed that artificial sediments formed by a technological process follow the general laws of sedimentation and diagenesis and their texture corresponds to macroscopic texture of sediments deposited in natural closed fresh-water reservoirs. The sediments deposited in such artificial reservoirs are characterized by layered-banded texture consisting of light and dark layers, a few to about a dozen centimeters thick. Bedding is commonly horizontal, and inter-layer boundaries well distinct. Light-coloured layers correspond granulometrically to silts, whereas dark-coloured ones show predominance of grains of sand fractions. Sometimes the horizontal bedding is disturbed by deformations resulting from differences in volume weight of the sediments or from erosional-accumulational action of water stream. Local accumulations of coal particles, cross-beddings, or accumulations of coarse grains (slag, coal particles) are sometimes found.

The bedding texture of the ash sediments results from discontinuous supply of the material to the reservoir and is determined by fluctuations of the intensity of supply and of the water table in the reservoir. The material is primarily transported by water stream which distributes the suspended material and forms a flat cone with almost horizontally inclined slopes (at 2—3°). This material is layered. In delta areas of the stream, a pelitic material is deposited. There, larger accumulations of fine pelitic material are deposited, the bedding texture may be disturbed, small-scale slumpings and flow structures originate, etc.

The sedimentary phenomena discussed above are of remarkable importance in the evaluation of the sediments as a base of upbuilding reservoir and also constructing its dams and for determining properties of the sediments as potential construction materials.

czyński R., Wysokiński L. — Składowanie odpadów przemysłowych w stawach osadowych. Materiał VI Kongresu Techników Polskich w Poznaniu. Geologia, Górnictwo VII sekcja Woj. Komitetu Organizacyjnego Kongresu w Warszawie. 1970.

## РЕЗЮМЕ

В процессе наблюдений над образованием осадка в отстойном бассейне констатируется, что осадконакопление мелкодисперсного технологического материала происходит согласно общим седиментационно-диагенетическим закономерностям и тексту этого искусственного осадка макроскопически соответствует текстуре естественного осадка, образовавшегося в природных замкнутых бассейнах.

Образованный в отстойнике материал обладает слоисто-полосчатой текстурой, образованной чередованием темных и светлых прослоев мощностью в несколько сантиметров. Расслоение горизонтальное, границы между слоями выражены четко. Светлые прослойки гранулометрически соответствуют пеллиту, темные же содержат преимущественно песчанистую фракцию. Местами наблюдаются нарушения горизонтальной слоистости, обусловленные поступанием материала неодинакового объема веса или же эрозивно-аккумуляционной деятельностью струй жидкости. В таких местах отмечаются скопления органического вещества, концентрация более крупнозернистого материала (частицы шлака, угля) или же появляется перекрестная слоистость.

Слоистая текстура осадка обусловлена периодически меняющейся интенсивностью поступления материала и колебаниями положения зеркала воды в отстойнике. Основной транспортной силой является струя, несущая взвешенный материал и намывающая конус с почти горизонтальной поверхностью (2—3°). Устьевая и дельтовая часть струи характеризуется накоплением пеллитического материала. В этих местах слоистая текстура нарушена, образуются скопления мелкодисперсного материала, оползни, текстуры течения и пр.

Данные вышеприведенных наблюдений могут быть полезными при изучении осадков в основаниях сооружаемых плотин, при строительстве водоемов на отвалах и в оценке осадочных накоплений, используемых в качестве строительных материалов.