

# OKREŚLENIE STOPNIA WYKORZYSTANIA ŻŁÓŻ PIASKÓW I ŻWIRÓW EKSPLOATOWANYCH PŁYWAJĄCYMI KOPARKAMI WIELOCZERPAKOWYMI

## ON DETERMINATION OF THE UTILIZATION RATES FOR SAND AND GRAVEL DEPOSITS EXTRACTED BY MEANS OF FLOATING MULTI-BUCKET DREDGER EXCAVATORS

Andrzej Witt, Zbigniew Schmidt, Tadeusz Kurkowiak – Poltegor Instytut IGO, Wrocław

*W artykule przedstawiono innowacyjną metodę określania wielkości rzeczywistego wydobycia i zwalowania wewnętrznego w wyrobisku nieprzydatnych frakcji urobku oraz ilości nadawy podanej do zakładu przerobczego. Metoda odnosi się do warunków eksploatacji kopalni okruchowych spod wody pływającymi koparkami wieloczerpakowymi. Omówiono również wyniki pomiarów wykonanych na koparce z zastosowaniem tej metody.*

**Słowa kluczowe:** koparka, piaski, żwiry, urabianie

*The paper outlines the innovative method that enables to determine the amounts of minerals that are actually extracted as well as the rates of useless fraction of excavated minerals that are internally dumped into the bed and the amount of feed that is conveyed to a treatment plant when fine-grained minerals are extracted with use of floating multi-bucket dredger excavators. Results of measurements carried out with use of the proposed method on a real dredger in operation are discussed as well.*

**Key words:** excavator, sand, gravel, dredging

### Wstęp

W trakcie eksploatacji złóż spod lustra wody występują problemy z określaniem ilości wydobywanej kopaliny, co wynika z braku możliwości bezpośrednich pomiarów poeksploatacyjnego wyrobiska i porównania ich z danymi zawartymi w dokumentacjach geologicznych. Skutkuje to trudnościami z rozliczeniem wydobytych zasobów, wielkości strat pozaeksploatacyjnych, eksploatacyjnych, przerobczych oraz stopnia wykorzystania złoża. W artykule zaproponowano procedurę rozliczania zasobów złóż piasków i żwirów eksploatowanych przez wieloczerpakowe koparki pływające.

### Eksploatacja złóż piasków i żwirów koparkami wieloczerpakowymi

Do wydobywania kopalni ze złóż żwirowo-piaskowych zalegających poniżej lustra wody stosowane są najczęściej pływające koparki: wieloczerpakowe, chwytakowe i ssące. W artykule został przedstawiony proces wydobywania kopaliny pływającymi koparkami wieloczerpakowymi.

Koparka urabia caliznę czerpakami wypełniając je urobkiem. Czerpaki przemieszczane są za pomocą łańcucha (fot. 2) w górę nad ruszt piętrowy i w najwyższym położeniu ulegają rozładunkowi. Na ruszcie następuje oddzielanie brył nadwymiarowych, kawałków drewna powyżej 100 (120) mm oraz brył gliny, o ile występują w złożu. Następnie urobek poprzez zsypanie podawany jest na dwupokładowy przesiewacz wibracyjny (fot. 3) z sitami o wymiarach oczek najczęściej 100 x 100 mm na pokładzie górnym i szczelin na pokładzie dolnym o wymiarach 2,2 x 25 mm. Na sicie górnym oddzielane są bryły powyżej

### Introduction

Extraction of minerals from below water table is associated with problems with determination of the mineral volumes that have been actually extracted since there are no methods capable to directly measure volumes of post-extraction cavities and compare them against information included into reports from geological surveys. It leads to difficulties with inventory of extracted reserves, amounts of extraction and non-extraction loss as well as loss associated with the post-extraction treatment process. In consequence, it is impossible to determine the degree how much deposits have already been exploited. To resolve the problem the paper proposes the procedure that is suitable for stocktaking how much sand and gravel have been already extracted with use of multi-bucket dredger excavators and how much reserves are left in deposited beds.

### Extraction of sand and gravel beds with use of multi-bucket dredger excavators

Minerals from sand and gravel beds deposited below water tables are usually extracted with use of floating excavators: multi-bucket dredgers, power shovels and refusers. The paper deals with the process of mineral extraction by means of floating multi-bucket dredger excavators.

The dredger extracts minerals by means of buckets that are filled with spoil and then pulled by chain (Photo 2) to the multi-story frame where the buckets are emptied on a grate to separate and remove oversized lumps, timber pieces of the size above 100 (120) mm and clay lumps if occur in the bed. Then the minerals are fed by means of a chute to a double-deck



Fot. 1. Koparka wieloczerpakowa KS160 firmy Röhr eksploatująca złożo Rakowice  
Photo. 1. The KS160 multi-bucket dredger excavator from Röhr in operation at the 'Rakowice' bed

100 (120) mm i zrzucane do wody bezpośrednio pod koparkę, a podziarno z pokładu dolnego, tj. frakcja poniżej 2 mm, jest kierowane również pod koparkę lub hydrotransportem poza rejon eksploatacji. Frakcja 2-100 (120) mm z przesiewacza podawana jest na zdawczy przenośnik taśmowy, wyposażony w wagę taśmową. Przenośnik ten jest pierwszym elementem układu transportującego urobek z koparki do zakładu przerobczego. Układ transportowy składa się z przenośników pływających na pontonach oraz przenośników lądowych, łączących koparkę z zakładem przerobczym.



Fot. 2. Czerpaki koparki wieloczerpakowej wynoszące urobek spod wody  
Photo 2. Buckets of a multi-bucket dredger excavator designed to excavate minerals from underwater beds

shaking screen (Photo 3) where mesh size of the upper screen is usually 100 x 100 mm and slot size of the bottom screen is 2.2 x 25 mm. The top screen is meant to separate and remove lumps of the size exceeding 100 (120) mm that are dumped to water directly beneath the dredger whilst the superfine fraction from below the bottom screen, i.e. grains of the size below 2 mm is also forwarded below the machine or outside the extraction region by means of slurry pipelines. The usable fraction with the size 2-100 (120) mm is transferred from the bottom screen to a haulage belt conveyor that is usually furnished with a belt scales. That conveyer serves usually as the first component of the haulage system designed to hand over the extracted minerals to a treatment plant. The haulage system is usually made up of conveyors that are placed on floating pontoons as well as mainland conveyers intended to connect the dredger with a treatment plant.

Screen decks are provided with water jets installed above screens and designed to wash the spoil from dust, clay and silt particles (Photo 3) and, in some cases, to aid the separation process of sand fraction.

Multi-bucket dredger excavators are capable of extracting minerals from the depth down to 25.0 m below the water table. Studies on streams of minerals transferred during excavation by means of a KS 160 multi-bucket dredger excavator were carried out at the 'Rakowice' sand and gravel mine.

#### **Description of the method developed for determination of already extracted in-bed resources**

The volumes of minerals already extracted from in-bed resources were estimated on the basis of data from geological documentation, measurements of mineral flows on conveyors as well as measurements of the post-extraction cavities with use of an echo sounder. The reference information was assumed from the documentation files (survey reports) [2, 3].

Nad pokładami przesiewacza zainstalowane są dysze do natrysku wodnego dla oczyszczania urobku z części pylistych, gliniastych i ilastych (fot. 3) oraz w niektórych przypadkach dla wspomagania procesu odsiewu frakcji piaskowej.

Koparki wieloczerpakowe wydobywają kopalinę do głębokości 25,0 m poniżej zwierciadła wody. Badania przepływu kopaliny w trakcie urabiania wieloczerpakową koparką KS 160 przeprowadzono w kopalni piasków i żwirów Rakowice.



Fot. 3. Górny pokład przesiewacza koparki KS 160  
Photo. 3. The top screen of the KS 160 dredger excavator

### Opis metody określania wyeksploatowanych zasobów złóż

Sposoby określenia wyeksploatowanych zasobów złoża oparto o dane z dokumentacji geologicznych i pomiarów przepływu strumienia urobku na przenośnikach, oraz obmiary wyrobiska poeksploatacyjnego echosondą.

Na podstawie tych opracowań określone są zasoby możliwe do wydobycia. W projekcie zagospodarowania złoża obliczane są również straty:

- pozaeksploatacyjne – kopalina pozostawiona w skarpach bocznych złoża oraz groblach, na których usytuowane są trasy przenośników taśmowych,
- eksploatacyjne – kopalina pozostawiona w spągu złoża oraz zebrana z nadkładem,
- przeróbcze – powstające w trakcie przeróbki.

Do obliczania strat pozaeksploatacyjnych przyjmowane jest nachylenie końcowych skarp wyrobiska, na podstawie danych z eksploatowanych złóż w podobnych warunkach geologiczno-górnictwowych.

Straty eksploatacyjne określone są również na podstawie danych ruchowych z eksploatowanych złóż, straty stropowe wylicza się z miąższości warstwy, jaka zostanie usunięta z nadkładem, natomiast straty spągowe określone są na podstawie zdobytych doświadczeń, w tym pomiarów wyrobisk w trakcie prowadzonej eksploatacji.

Straty przeróbcze określone są procentowo dla danego typu złoża.

The mentioned developments served as the starting information to find out the amounts of extractable resources. The plan of mineral bed management takes also account for loss that may occur due to various reasons:

- non-extraction loss – minerals that are left in side slopes of the bed as well as in dykes where belt conveyors are installed,
- extraction loss – minerals that are left in the floor of the mineral bed or excavated with the overburden strata (strippings),
- loss associated with the post-extraction treatment process.

Calculation of non-extraction loss is based on the inclination angle of final excavation slopes, where the angles are determined from comparative data from bed of minerals deposited under similar geological and mining conditions.

Extraction loss are also determined from operational information for beds under extraction, stripping loss is calculated from the thickness of the stratum that is to be removed together with the overburden, whilst the loss in the floor is estimated on the basis of acquired experience, including surveys of excavations when extraction of minerals is in progress.

Loss associated with the post-extraction treatment process is determined as the fixed percentage for specific types of mineral beds.

When extraction of minerals from the bed is in progress, the information about production volumes is obtained from scales located on belt conveyors. The first point of measurements is located at the point where usable minerals, i.e. the fraction 0÷100 (120) mm are received from the screen. Subsequent points of measurements are located in the treatment plant, in general on conveyers that transfer products to storage areas of finished products.

The obtained results are verified at the end of each year when post-extraction cavities are surveyed with an echo sounder. The survey results reflect status of the post-extraction cavities when it is partly refilled with remnants of non-extracted minerals as well as superfine (0÷2 mm) and oversized (100/120 mm+) fractions dumped back to water. Weighting of stuff on belt conveyors sho-

W trakcie eksploatacji złoża uzyskuje się dane masowe otrzymane z wag, umieszczonych na przenośnikach taśmowych. Pierwszy punkt pomiarowy umieszczony jest na przenośniku odbierającym urobek z przesiewacza, to jest frakcją 0 – 100 (120) mm. Kolejne punkty pomiarowe umieszczone są w zakładzie przerobczym, głównie na przenośnikach produktów końcowych.

Kontrolę uzyskanych wyników prowadzi się na koniec roku, wykonując obmiar wyrobisk poeksploatacyjnych echosondą. Wykonywane pomiary wyrobiska poeksploatacyjnego rejestrują jego stan już po wypełnieniu częściami kopaliny nieurobionej oraz zrzucenymi do niego, w trakcie prowadzenia procesu wydobywczego, frakcjami 0 – 2 mm i > 100 (120) mm. W pomiarach prowadzonych na przenośnikach taśmowych powinno być uwzględniane zawadnienie transportowanego materiału.

Pomiarami został objęty przepływ strumienia kopaliny wydobywanej koparką wieloczerpakową KS 160. Obliczenia uwzględniają również części kopaliny nie objęte pomiarami:

- wysypujące się z czerpaka podczas jego napełniania urobkiem,
- wypływające razem z wodą przez szczeliny czerpaka w trakcie jego przemieszczania z miejsca urabiania do wysypu na ruszt,
- pozostawiane w złożu ze względu na ruchy manewrowe koparki,
- nieeksploatowane ze względu na konieczność usunięcia ze złoża elementów obcych: pnie drzew, wkładki gliny itp.

Objęcie pomiarami tej części zasobów kopaliny jest bardzo trudne i w wykonanych pracach nie zostało uwzględnione.

Pomiarami zostały objęte według poniższego:

**Pomiary bezpośrednie.** Frakcja 2(0) – 100 (120) mm dostarczana do zakładu przerobczego, pomiar wykonany na wadze przenośnikowej. Uziarnienie nadawy podawanej do zakładu przerobczego ustalono przez pobieranie prób w przesywie między przenośnikami. Analiza sitowa pozwala określić ilość poszczególnych frakcji, które podawane są do zakładu przerobczego oraz stopień ich zawadnienia.

**Pomiary pośrednie.** Urobek pobierany z czerpaka koparki przed przeróbką wstępną, tj. przed rusztem i koszem zasypowym. Analiza sitowa prób określa ilość nadziarna powyżej 100 (120) mm i ilość frakcji poniżej 2 mm podawanej na przesiewacz, a bilans mas próbek po pobraniu i po suszeniu, stopień zawadnienia urobku.

Próby pobiera się z napełnionych czerpaków podczas zatrzymania koparki.

Koparka w trakcie pracy zrzuca do wyrobiska część wydobywanego urobku. Frakcje odprowadzane do wyrobiska poeksploatacyjnego rozprzestrzeniają się po części zbiornika.

Określenie wielkości wydobywania kopaliny, tj. sumy mas półproduktu dostarczonego do zakładu przerobczego oraz urobku zwałowanego w podwodnym wyrobisku, w efektywnym czasie T pracy koparki, wyznacza się ze wzorów (1 – 3) gdzie:

$$U_T = 0,06 \cdot (1 - w_{cz}) \cdot m \sum_{i=1}^n c_i \cdot T_i \quad (1)$$

$U_T$  – wielkość w [Mg] rzeczywistej, niezawadnionej masy kopaliny, urobionej czerpakami i wyładowanej na ruszt koparki w czasie  $T = T_1 + T_2 + \dots + T_n$ , w [h]

$T_i$  – składowe czasy pracy koparki z różnymi wydajnościami

uld also take account for water content of conveyed minerals.

The measurements were focused on the stream of minerals excavated by means of the KS 160 multi-bucket dredger excavator. The calculations take also account for the portions of minerals that are not covered by measurements:

- spills from buckets when it is being filled with minerals,
- leaks of minerals suspended in water that flees via bucket fissures when buckets are conveyed from the gathering place to the point where buckets are emptied onto the grate,
- remnants of minerals that must be left in the bed due to manoeuvre movements of the dredger,
- amounts of minerals that are excluded from extraction due to the need to remove foreign bodies from the bed: tree trunks, clay intrusions, etc.

It is really difficult to cover these portions of minerals by measurements and the completed scope of works took no notice of that leftovers.

The measurements comprise the following techniques:

**Direct measurements.** The fraction 2(0) – 100 (120) mm is supplied to the treatment plant and measurements are taken on the conveyor scales. Actual granulation of the feed supplied to the treatment plant was determined by sampling the minerals at the transfer station between conveyors. The screening of samples makes it possible to find out amounts of individual fractions that are supplied to the treatment plant as well as the degree of water content.

**Indirect measurements.** Excavated minerals were sampled from a dredger bucket prior to pretreatment, i.e. upstream the grate and the charging bucket. The analysis of screenings made it possible to find out rates of oversized grains above 100 (120) mm as well as superfine fraction below 2 mm in the raw minerals supplied to the screen as well as content of water in the excavated stuff.

Samples were taken from the filled buckets during the machine downtimes.

During the dredger operation a portion of excavated minerals was dumped back to the emptied cavities. The fractions that are returned to the post-extraction cavities are spread over a part of the reservoir.

The amount of usable minerals, i.e. the semi-finished product that is delivered to the treatment plant as well as the amount of raw minerals dumped back to the underwater excavation over the efficient time T of the dredger operation can be calculated from formulas (1 ÷ 3).

$$U_T = 0,06 \cdot (1 - w_{cz}) \cdot m \sum_{i=1}^n c_i \cdot T_i \quad (1)$$

where:

$U_T$  – weight of actual, water-free minerals, excavated by means of buckets and discharged to the dredger grate over the time of  $T = T_1 + T_2 + \dots + T_n$  in [Mg],

$T_i$  – specific time intervals when the dredger was operated at various productivities in [h]

$w_{cz}$  – average relative humidity of the excavated minerals in buckets,

$m$  – average weight of water-soaked minerals in a single bucket, [Mg],

$c_i$  – frequency of the bucket discharge operation over the effective time intervals  $T_i$  of the dredger operation,

$n$  – number of frequency values for bucket discharge operations over the total time T of the dredger operation.

$w_{cz}$  – średnia wilgotność względna urobku w czerpakach  
 $m$  – średnia masa zawadzonego urobku w czerpaku, [Mg]  
 $c_i$  – częstotliwość rozładunku czerpaków w efektywnym czasie  $T_i$  pracy koparki [1/min]  
 $n$  – ilość wartości częstotliwości rozładunku czerpaków, z którymi pracowała koparka w sumarycznym czasie  $T$

$$N_T = (1 - w_{zp}) M \quad (2)$$

gdzie:

$N_T$  – masa półproduktu (niezawadzonego) dostarczonego do zakładu przerobczego w czasie  $T = T_1 + T_2 + \dots + T_n$ , w [Mg]  
 $M$  – masa materiału zawadzonego, dostarczonego w czasie  $T$  do zakładu przerobczego, [Mg]  
 $w_{zp}$  – średnia wilgotność względna nadawy dostarczonej do zakładu przerobczego

$$P_T = U_T - N_T \quad (3)$$

gdzie:

$P_T$  – wielkość niezawadzonej masy piasków, drobnych żwirków, ewentualnie sprasowanych brył gliniasto-łilastych, otoczek o granulacji ograniczającej uziarnienie do kruszenia w zakładzie przerobczym, zazwałowanych w podwodnym wyeksploatowanym wyrobisku, bezpośrednio przez koparkę, [Mg].

**Wartości  $c_i$ ,  $T_i$ ,  $M$  i  $n$**  gromadzone są w pamięci elektronicznych rejestratorów koparek;  $m$ ,  $w_{cz}$ ,  $w_{zp}$  – wyznacza się empirycznie dla określonych partii złoża o zbliżonych składach granulometrycznych, co określa się za pomocą programów komputerowych GeoStar i GeoPlan [5]. Dla różniących się części górotworu parametry te należy wyznaczać osobno. Program GeoStar służy do tworzenia baz danych geologicznych, obliczeń parametrów złożowo-jakościowych warstw i do edycji podstawowych elementów dokumentacji geologicznej (kart otworów, przekrojów, tabel obliczeniowych i wyników analiz laboratoryjnych. Program GeoPlan służy do tworzenia modeli 2D dla dowolnych parametrów złoża zawartych i wyliczonych w bazie danych, a następnie do tworzenia map izoliniowych, warstwicznych, obliczania, rozliczania i bieżącej ewidencji zasobów złoża. Przykład dla badanego złoża przedstawiono na rysunku 1.

**Wielkości empiryczne do oszacowania  $U_T$ ,  $N_T$  i  $P_T$ .** Dla określenia potrzebnych wartości empirycznych pobiera się próby urobku poprzez ręczny rozładunek pojedynczych czerpaków, oraz próby nadawy do zakładu przerobczego z przesypu pomiędzy przenośnikami po procesie ważenia.

**Średnia masa  $m$  zawadzonego urobku w czerpaku i jego wilgotność  $w_{cz}$ .** wyznacza się w oparciu o wielokrotne, całkowite ręczne opróżnianie czerpaków w stałym czasie (10 minut każdy), przez tę samą osobę. Podczas tej operacji zawartość czerpaka samoistnie się odwadnia, a całkowity czas odwadniania jest istotny dla dokładności szacunku. Czynność wykonuje się na pokładzie koparki, przeladowując urobek do hermetycznych pojemników. Cykl operacji od unieruchomienia łańcucha z czerpakami do wznowienia urabiania wynosi 15 min. Po wznowieniu urabiania należy zważyć pojemniki dla ustalenia masy zawadzonego urobku w czerpaku, po czym ich zawartość usuwa się do wyrobiska i cykl powtarza się. Wypełnione

$$N_T = (1 - w_{zp}) M \quad (2)$$

where:

$N_T$  – weight of the semi-finished product (water-free) delivered to the treatment plant over the total time of  $T = T_1 + T_2 + \dots + T_n$  in [Mg],  
 $M$  – weight of water-soaked minerals delivered to the treatment plant over the total time of  $T$ , in [Mg],  
 $w_{zp}$  – average relative humidity of the feed delivered to the treatment plant.

$$P_T = U_T - N_T \quad (3)$$

where:

$P_T$  – represent (water free) sand, fine gravel or compacted lumps of clay and silt and cobblestones with granulation outside the permissible limits to be crushed at the treatment plant. Those minerals were dumped back to the underwater cavities directly beneath the dredger, [Mg].

**The values of  $c_i$ ,  $T_i$ ,  $M$  and  $n$**  are stored in electronic memory units (operation logs) of dredger excavators whilst  $m$ ,  $w_{cz}$ ,  $w_{zp}$  are calculated from empiric experience for specific portions of mineral beds with similar granulometric compositions, which can be determined by means of GeoStar and GeoPlan computer software [5]. For mutually different parts of rock mass these parameters have to be determined separately. The GeoStar software is designed for development of geological databases, computation of quality parameters for strata of mineral beds as well as for edition of key components of geological documentation (borehole sheets, cross-sections, calculation tables and reports from laboratory tests). In turn, GeoPlan software is useful for development of 2D models for whichever parameters of mineral beds, where these parameters can be imported from databases or computed on the basis of the already acquired information. Subsequently, the software is capable of developing isolinear and isohypse maps as well as computing, keeping inventory of bed resources and updating the stored information on the current basis. An example for the mineral bed under investigation is shown in Fig. 1.

**Empiric parameters for estimation of  $U_T$ ,  $N_T$  and  $P_T$ .** To find out the required values of empiric parameters it is necessary to take samples from excavated minerals by manual emptying of single buckets as well as to carry out tests of semi-finished products after pretreatment on the dredger screen (classification of granules, stripping and washing), where samples are taken from transfer stations between belt conveyors upstream the treatment plant but downstream the conveyor scales.

**Average weight  $m$  of water-soaked raw minerals in buckets and its humidity  $w_{cz}$ .** is calculated by repeated and manual emptying of buckets during a fixed time slot (10 minutes per bucket) and by the same person. During the emptying process the bucket content is spontaneously dehydrated, thus the total time of dehydration is essential for accuracy of estimations. The buckets are emptied on the dredger board and the minerals are transferred to leakproof containers. The cycle duration from the chain stop to excavation restart is 15 minutes. Upon excavation is restarted it is necessary to weight the containers to establish the weight of water-soaked minerals inside buckets and containers are emptied into the excavation cavities with

pojemniki z ostatniego cyklu rozładunku czerpaka w danym dniu przewozi się do laboratorium celem wysuszenia i ustalenia średniej wilgotności  $w_{cz}$ . Należy wykonać, co najmniej 30 cykli rozładunku. Przy takiej częstotliwości można zastosować metody probabilistyczne dla określenia dokładności ich oszacowania.

**Średnia wilgotność względna nadawy do zakładu przerobczego  $w_{zp}$ .** Po każdym cyklu opróżnienia czerpaka należy pobrać do pojemnika hermetycznego próbkę ok. 10 kg nadawy do zakładu przerobczego. Można to wykonać w przepisie pomiędzy przenośnikami pływającymi za pozycją wagi taśmowej. Pozyskamy w ten sposób frakcję między-sitową po klasyfikacji na ruszcie i na dwupokładowym przesiewaczu z natryskiem wodnym, po odseparowaniu piasków drobno- i średnio-ziarnistych, składników mułkowych i gliniasto-ilastych oraz nadgabarytów frakcji kamienistej (zazwyczaj ograniczenie  $> 100$  mm) i kawałków drewna z czarnych dębów.

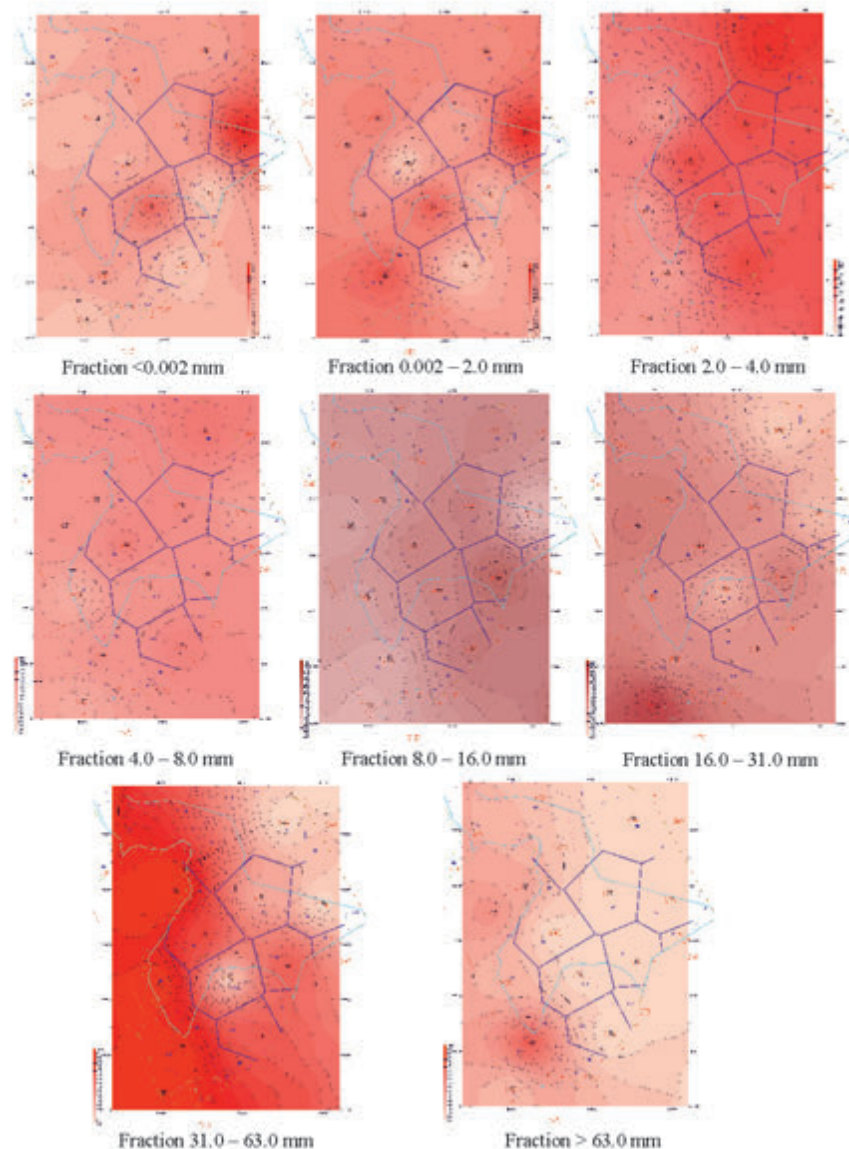
### Wyniki prac eksperymentalnych

Metodę zastosowano w kopalni Rakowice w wyniku prowadzenia prac eksperymentalnych w latach 2000-2011. W tabeli 1 przedstawiono średni skład granulometryczny złoża,

subsequent repeating of the cycle as many times as needed. Containers filled with minerals from the last cycle during the specific day are conveyed to a laboratory to have the content dried and to find out its average humidity  $w_{cz}$ . To achieve sufficient accuracy of required parameters at least 30 cycles of bucket emptying is necessary. With such a frequency it is possible to apply probabilistic methods to determine accuracy of estimations.

**Average relative humidity  $w_{zp}$  of feed delivered to the treatment plant.** Upon each cycle of bucket emptying is completed it is necessary to take a sample of ca. 10 kg of minerals from a transfer station between belt conveyors and collect in into a leakproof container. The sampling point must be downstream the belt conveyor scales. In that way the sample represents the mid-screen fraction obtained after classification on a grate and on a two-deck screen with water spraying and it is free of fine and mid-grained sand, mud, clay and slit components as well as the fraction of oversized stone (the usual threshold is 100 mm+) as well as pieces of black oak timber.

### Results from experiments



Rys. 1. Rozkład uziarnienia fragmentu złoża Rakowice na podstawie danych [2]

Fig. 1. Distribution of grain sizes for a fragment of the 'Rakowice' bed on the basis of data from [2]

Tab.1. Średni skład ziarnowy złoża „Rakowice” wg dokumentacji [2]

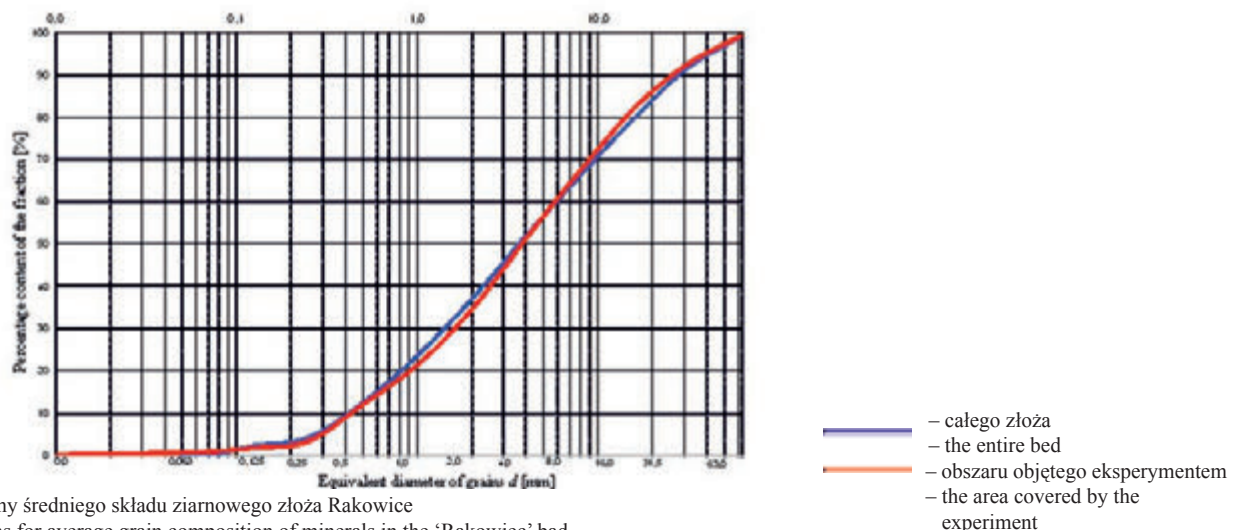
Table .1. Average composition of grain sizes from the ‘Rakowice’ bed according to documentation

Sita Screen mesh	Pozostaje na sicie Remains on the screen		Przesiew Throughs	Fracje Fractions	Zawartość frakcji Fraction rate	Suma frakcji Fractions in total
	Próba / Sample	Odsiew / Screenings	Próba / Sample			
[mm]	[g]	[%]	[%]	[mm]	[%]	[%]
63.0	512.0	0.6	99.4	0.0 - 0.063	0.0	0.0
31.5	6 544.0	8.2	91.8	0.063 - 0.125	2.2	2.2
16.0	16 024.0	20.0	80.0	0.125 - 0.25	1.9	4.1
8.0	26 992.0	33.7	66.3	0.25 - 0.50	8.3	12.4
4.0	38 464.0	48.1	51.9	0.50 - 1.00	11.2	23.6
2.0	50 424.0	63.0	37.0	1.00 - 2.00	13.4	37.0
1.0	61 144.0	76.4	23.6	2.00 - 4.00	15.0	51.9
0.5	70 088.0	87.6	12.4	4.0 - 8.0	14.3	66.3
0.25	76 704.0	95.9	4.1	8.0 - 16.0	13.7	80.0
0.125	78 240.0	97.8	2.2	16.0 - 31.5	11.9	91.8
0.063	79 976.0	100.0	0.0	31.5 - 63.0	7.5	99.4
0.0	80 000.0	100.0	0.0	> 63.0	0.6	100.0

Tab.2. Średni skład ziarnowy dla obszaru objętego eksperymentem wg dokumentacji[2]

Table 2. Average composition of grain sizes for the area covered by the experiment according to the [2] documentation

Sita Screen mesh	Pozostaje na sicie Remains on the screen		Przesiew Throughs	Fracje Fractions	Zawartość frakcji Fraction rate	Suma frakcji Fractions in total
	Próba / Sample	Odsiew / Screenings	Próba / Sample			
[mm]	[g]	[%]	[%]	[mm]	[%]	[%]
63,0	500,0	0,5	99,5	0,0 - 0,063	0,7	0,7
31,5	7300,0	7,3	92,7	0,063 - 0,125	1,0	1,7
16,0	17700,0	17,7	82,3	0,125 - 0,25	1,6	3,3
8,0	32600,0	32,6	67,4	0,25 - 0,50	8,7	12,0
4,0	48700,0	48,7	51,3	0,50 - 1,00	9,4	21,4
2,0	65500,0	65,5	34,5	1,00 - 2,00	13,1	34,5
1,0	78600,0	78,6	21,4	2,00 - 4,00	16,8	51,3
0,5	88000,0	88,0	12,0	4,0 - 8,0	16,1	67,4
0,25	96700,0	96,7	3,3	8,0 - 16,0	14,9	82,3
0,125	98300,0	98,3	1,7	16,0 - 31,5	10,4	92,7
0,063	99300,0	99,3	0,7	31,5 - 63,0	6,8	99,5
0,0	100000,0	100,0	0,0	ponad 63,0	0,5	100,0



Rys.2. Diagramy średniego składu ziarnowego złoża Rakowice

Fig.2. Diagrams for average grain composition of minerals in the ‘Rakowice’ bed

Tab.3. Skład ziarnowy piasku 0 – 2 mm w urobku

Oznaczenie składu ziarnowego. Metoda przesiewania. PN-EN 933-1 [6]

Table 3. Content of 0÷2 mm sand grains in excavated raw minerals.

Determination of particle size distribution. Sieving method. PN-EN 933-1 [6]

Sita Screen mesh	Pozostaje na sicie Remains on the screen		Przesiew Throughs	Fracje Fractions	Zawartość frakcji Fraction rate	Suma frakcji Fractions in total
	Próba / Sample	Odsiew / Screenings	Próba / Sample			
[mm]	[g]	[%]	[%]	[mm]	[%]	[%]
63.0	0.0	0.0	100.0	0.0 - 0.063	0.2	0.2
31.5	0.0	0.0	100.0	0.063 - 0.125	2.4	2.5
16.0	0.0	0.0	100.0	0.125 - 0.25	4.7	7.2
8.0	0.0	0.0	100.0	0.25 - 0.50	25.9	33.1
4.0	0.0	0.0	100.0	0.50 - 1.00	27.8	61.0
2.0	0.0	0.0	100.0	1.00 - 2.00	39.0	100.0
1.0	28 160.1	39.0	61.0	2.00 - 4.00	0.0	100.0
0.5	48 242.2	66.9	33.1	4.0 - 8.0	0.0	100.0
0.25	66 928.7	92.8	7.2	8.0 - 16.0	0.0	100.0
0.125	70 302.5	97.5	2.5	16.0 - 31.5	0.0	100.0
0.063	72 012.0	99.8	0.2	31.5 - 63.0	0.0	100.0
0.0	72 128.4	100.0	0.0	> 63.0	0.0	100.0

Tab.4. Skład ziarnowy piasku 0 – 2 mm w nadawie do zakładu przerobczego

Oznaczenie składu ziarnowego. Metoda przesiewania. PN-EN 933-1 [6] / Determination of particle size distribution. Sieving method. PN-EN 933-1 [6]

Table 4. Content of 0÷2 mm sand grains in the feed delivered to the treatment plant

Sita Screen mesh	Pozostaje na sicie Remains on the screen		Przesiew Throughs	Fracje Fractions	Zawartość frakcji Fraction rate	Suma frakcji Fractions in total
	Próba / Sample	Odsiew / Screenings	Próba / Sample			
[mm]	[g]	[%]	[%]	[mm]	[%]	[%]
63.0	0.0	0.0	100.0	0.0 - 0.063	0.1	0.1
31.5	0.0	0.0	100.0	0.063 - 0.125	0.3	0.4
16.0	0.0	0.0	100.0	0.125 - 0.25	2.4	2.8
8.0	0.0	0.0	100.0	0.25 - 0.50	20.0	22.8
4.0	0.0	0.0	100.0	0.50 - 1.00	32.5	55.3
2.0	0.0	0.0	100.0	1.00 - 2.00	44.7	100.0
1.0	4 403.5	44.7	55.3	2.00 - 4.00	0.0	100.0
0.5	7 606.6	77.2	22.8	4.0 - 8.0	0.0	100.0
0.25	9 580.5	97.2	2.8	8.0 - 16.0	0.0	100.0
0.125	9 821.7	99.6	0.4	16.0 - 31.5	0.0	100.0
0.063	9 851.6	99.9	0.1	31.5 - 63.0	0.0	100.0
0.0	9 858.7	100.0	0.0	> 63.0	0.0	100.0

a w tabeli 2 średni skład granulometryczny obszaru złoża, na którym prowadzono prace eksperymentalne. Dla tego obszaru wykonano mapy rozkładu poszczególnych frakcji piasku i żwiru z wykorzystaniem programów Geoplan i Geostar (rys. 1) oraz diagramy odpowiadające rozkładowi ziarnowemu (rys. 2) dla całego złoża i obszaru badań.

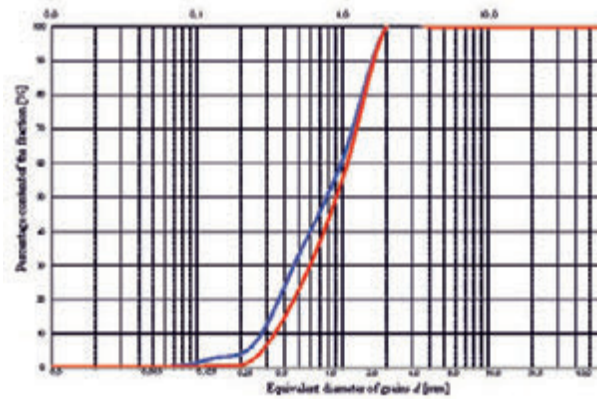
Analiza tabel 1 i 2, diagramów (rys. 2) oraz mapy rozkładu uziarnienia (rys. 1) wykazuje, że złożo cechuje mała zmienność rozkładu ziarnowego, a zatem wartości parametrów  $m$ ,  $w_{cz}$ ,  $w_{zp}$  wyznaczone empirycznie można przyjąć dla całego złoża.

Dla obszaru badań wyznaczono średni skład ziarnowy urobku w czerpakach oraz średni skład ziarnowy półproduktu transportowanego z koparki jako nadawę do zakładu przerobczego. Wyniki zestawiono w tabelach 7 i 8, a diagramy na rysunku 5.

The method was applied at the 'Rakowice' mine in consequence of vast experimental studies that were carried out from 2000 to 2011. Table 1 shows average composition of grain sizes in the 'Rakowice' bed whilst Table 2 refers to average composition of grain sizes for the area covered by the experiment. Then Geoplan and Geostar software was used to develop maps for the area of interest to show distribution of individual sand and gravel fractions as well as to plot diagrams that reveal distribution of grain sizes (Fig. 2) for the entire bed and the area under investigation.

The analysis of information from Tables 1 and 2 as well as the diagrams (Fig. 2) in conjunction to the map of grain size distribution (Fig. 1) reveals that the bed exhibits very low variability of grain size distribution, therefore the parameters  $m$ ,  $w_{cz}$ ,  $w_{zp}$  determined by means of empiric methods can be





- urobek w czepaku koparki
- traw minerals in the bucket of the dredger excavator
- nadawy do zakładu przerobczego
- feed delivered to the treatment plant

Rys. 3. Diagramy składu ziarnowego piasku 0 – 2 mm w urobku i nadawie do zakładu przerobczego:

Fig. 3. Diagrams for the content of 0÷2 mm sand grains in the excavated raw minerals as well as in the feed delivered to the treatment plant:

Tab.5. Skład ziarnowy żwiru &gt;2 mm w urobku

Oznaczenie składu ziarnowego. Metoda przesiewania. PN-EN 933-1 [6]

Table 5. Content of 2 mm+ gravel grains in excavated raw minerals

Determination of particle size distribution. Sieving method. PN-EN 933-1 [6]

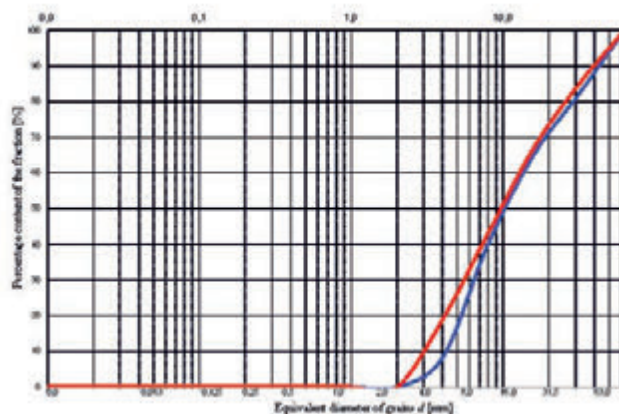
Sita Screen mesh	Pozostaje na sicie Remains on the screen		Przesiew Through	Fracje Fractions	Zawartość frakcji Fraction rate	Suma frakcji Fractions in total
	Próba / Sample	Odsiew / Screenings	Próba / Sample			
[mm]	[g]	[%]	[%]	[mm]	[%]	[%]
63.0	0.0	0.0	100.0	0.0 - 0.063	0.0	0.0
31.5	24 447.0	17.9	82.1	0.063 - 0.125	0.0	0.0
16.0	47 429.0	34.8	65.2	0.125 - 0.25	0.0	0.0
8.0	81 366.0	59.7	40.3	0.25 - 0.50	0.0	0.0
4.0	125 020.0	91.8	8.2	0.50 - 1.00	0.0	0.0
2.0	136 221.0	100.0	0.0	1.00 - 2.00	0.0	0.0
1.0	136 221.0	100.0	0.0	2.00 - 4.00	8.2	8.2
0.5	136 221.0	100.0	0.0	4.0 - 8.0	32.0	40.3
0.25	136 221.0	100.0	0.0	8.0 - 16.0	24.9	65.2
0.125	136 221.0	100.0	0.0	16.0 - 31.5	16.9	82.1
0.063	136 221.0	100.0	0.0	31.5 - 63.0	17.9	100.0

Tab. 6. Skład ziarnowy żwiru &gt;2 mm w nadawie do zakładu przerobczego

Oznaczenie składu ziarnowego. Metoda przesiewania. PN-EN 933-1 [6] / Determination of particle size distribution. Sieving method. PN-EN 933-1 [6]

Table 6. Content of 2 mm+ gravel grains in the feed delivered to the treatment plant

Sita Screen mesh	Pozostaje na sicie Remains on the screen		Przesiew Throughs	Fracje Fractions	Zawartość frakcji Fraction rate	Suma frakcji Fractions in total
	Próba / Sample	Odsiew / Screenings	Próba / Sample			
[mm]	[g]	[%]	[%]	[mm]	[%]	[%]
63.0	0.0	0.0	100.0	0.0 - 0.063	0.0	0.0
31.5	4 535.0	15.2	84.8	0.063 - 0.125	0.0	0.0
16.0	9 835.0	32.9	67.1	0.125 - 0.25	0.0	0.0
8.0	16 972.0	56.8	43.2	0.25 - 0.50	0.0	0.0
4.0	24 247.0	81.1	18.9	0.50 - 1.00	0.0	0.0
2.0	29 904.0	100.0	0.0	1.00 - 2.00	0.0	0.0
1.0	29 904.0	100.0	0.0	2.00 - 4.00	18.9	18.9
0.5	29 904.0	100.0	0.0	4.0 - 8.0	24.3	43.2
0.25	29 904.0	100.0	0.0	8.0 - 16.0	23.9	67.1
0.125	29 904.0	100.0	0.0	16.0 - 31.5	17.7	84.8
0.063	29 904.0	100.0	0.0	31.5 - 63.0	15.2	100.0
0.0	29 904.0	100.0	0.0	> 63.0	0.0	100.0



- – urobek w czepaku koparki
- – nadawy do zakładu przerobczego
- feed delivered to the treatment plant

Rys. 4. Diagramy składu ziarnowego żwirów w urobku i nadawie do zakładu przerobczego

Fig. 4. Diagrams for the content of gravel grains in the excavated raw minerals

Tab.7. Skład ziarnowy urobku przed wylądkiem na ruszt koparki. Oznaczenie składu ziarnowego. Metoda przesiewania. PN-EN 933-1

Table 7. Grain composition of the raw minerals before discharging onto the dredger grate. Determination of particle size distribution. Sieving method. PN-EN 933-1

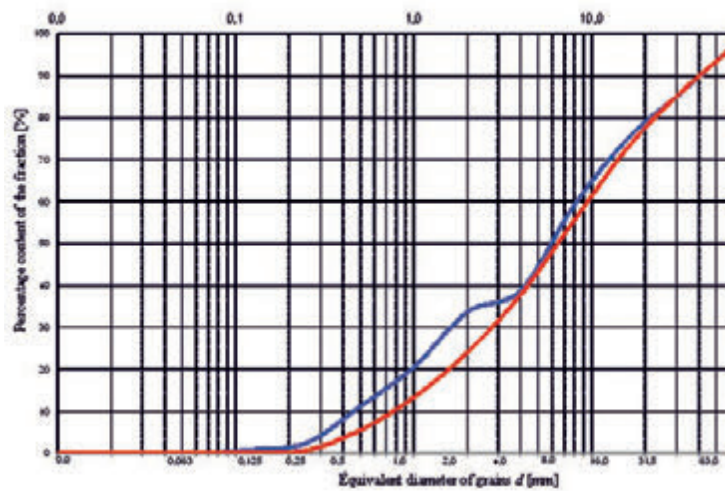
Sita Screen mesh	Pozostaje na sicie Remains on the screen		Przesiew Through	Fracje Fractions	Zawartość frakcji Fraction rate	Suma frakcji Fractions in total
	Próba / Sample	Odsiew / Screenings	Próba / Sample			
[mm]	[g]	[%]	[%]	[mm]	[%]	[%]
63.0	5 910.0	2.8	97.2	0.0 - 0.063	0.1	0.1
31.5	30 357.0	14.2	85.8	0.063 - 0.125	0.8	0.9
16.0	53 339.0	24.9	75.1	0.125 - 0.25	1.6	2.4
8.0	87 276.0	40.7	59.3	0.25 - 0.50	8.7	11.1
4.0	130 930.0	61.1	38.9	0.50 - 1.00	9.4	20.5
2.0	142 131.0	66.3	33.7	1.00 - 2.00	13.1	33.7
1.0	170 291.0	79.5	20.5	2.00 - 4.00	5.2	38.9
0.5	190 373.0	88.9	11.1	4.0 - 8.0	20.4	59.3
0.25	209 059.0	97.6	2.4	8.0 - 16.0	15.8	75.1
0.125	212 433.0	99.1	0.9	16.0 - 31.5	10.7	85.8
0.063	214 143.0	99.9	0.1	31.5 - 63.0	11.4	97.2
0.0	214 259.0	100.0	0.0	> 63.0	2.8	100.0

Tab.8 Skład ziarnowy półproduktu wysyłanego do zakładu przerobczego

Oznaczenie składu ziarnowego. Metoda przesiewania. PN-EN 933-1 [6] / Determination of particle size distribution. Sieving method. PN-EN 933-1

Table 8. Grain composition of the semi-finished product dispatched to the treatment plant

Sita Screen mesh	Pozostaje na sicie Remains on the screen		Przesiew Through	Fracje Fractions	Zawartość frakcji Fraction rate	Suma frakcji Fractions in total
	Próba / Sample	Odsiew / Screenings	Próba / Sample			
[mm]	[g]	[%]	[%]	[mm]	[%]	[%]
63.0	1 227.0	3.0	97.0	0.0 - 0.063	0.0	0.0
31.5	5 763.0	14.1	85.9	0.063 - 0.125	0.1	0.1
16.0	11 062.0	27.0	73.0	0.125 - 0.25	0.6	0.7
8.0	18 199.0	44.4	55.6	0.25 - 0.50	4.8	5.5
4.0	25 475.0	62.1	37.9	0.50 - 1.00	7.8	13.3
2.0	31 132.0	76.0	24.0	1.00 - 2.00	10.7	24.0
1.0	35 535.0	86.7	13.3	2.00 - 4.00	13.8	37.9
0.5	38 738.0	94.5	5.5	4.0 - 8.0	17.8	55.6
0.25	40 712.0	99.3	0.7	8.0 - 16.0	17.4	73.0
0.125	40 953.0	99.9	0.1	16.0 - 31.5	12.9	85.9
0.063	40 983.0	100.0	0.0	31.5 - 63.0	11.1	97.0
0.0	40 990.0	100.0	0.0	> 63.0	3.0	100.0



- urobek w czepaku koparki
- traw minerals in the bucket of the dredger excavator
- nadawy do zakładu przerobczego
- feed delivered to the treatment plant

Rys.5. Diagramy składu ziarnowego urobku i nadawy do zakładu przerobczego:  
Fig.5. Diagrams for grain composition in raw minerals and the feed delivered to the treatment plant

Różnica przebiegu linii krzywych w zakresie wartości odciętych w przedziale 0,125 mm – 4,0 mm jest znaczna (rys. 3). Pole ograniczone tymi krzywymi obrazuje część frakcji piaskowo-żwirowej odsianej na dolnym pokładzie przesiewacza w procesie odwadniania urobku, zazwałowanej w wyeksploatowanym wyrobisku. Urobek czepaka, jak i nadawa do zakładu przerobczego stanowią materiały różnoziarniste o wartościach wskaźnika uziarnienia

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

wynoszącym odpowiednio około 14 i 11,9, natomiast zawarte w urobku i nadawie frakcje piasku 0-2 mm stanowią materiały równoziarniste o wartościach wskaźnika U odpowiednio 3,3 i 2,5.

W ramach wykonanych prac eksperymentalnych wyznaczono empirycznie wielkości średnie:

- masy urobku zawadzonego w jednym czepaku  
 $m = 271,56$  kg
- wilgotności względnej urobku w czepaku  $w_{cz} = 0,0595$
- wilgotności względnej nadawy do zakładu przerobczego  $w_{zp} = 0,0669$

Zatem po wyznaczeniu wartości czynników  $m$ ,  $w_{cz}$  i  $w_{zp}$  równania (1-3) przyjmują postać:

$$U_T = 15,3241 \cdot \sum_{i=1}^n c_i T_i \quad [\text{Mg}] \quad (1)$$

$$N_T = 0,9331 \cdot M \quad [\text{Mg}] \quad (2)$$

$$P_T = 15,3241 \cdot \sum_{i=1}^n c_i T_i - 0,9331M \quad [\text{Mg}] \quad (3)$$

Równania te stanowią narzędzie do szacowania wielkości rzeczywistego wydobycia, odstawy półproduktu do zakładu przerobczego i materiału zwałowanego wewnątrz w podwodnym wyrobisku, w przeliczeniu na niezawadzoną masę kopaliny.

adopted for the entire bed.

For the area of experiments the average composition of grain sizes was determined for both the raw minerals in buckets and the semi-finished product that is dispatched as the feed from the dredge excavator to the treatment plant. Results are summarized in Tables 7 and 8 with corresponding diagrams in Fig. 5.

The mutual departure between the two curves for the abscissa values from 0.125 to 4.0 mm is quite significant (Fig. 3). The area contoured with these two curves represents the portion of sand and gravel fractions that is removed on the bottom deck of the screen during the dehydration process of minerals and dumped back to the post-extraction cavities. The raw material inside buckets as well as the feed for the treatments plant represents materials with a mix of grain sizes and the granulation factor

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

amounting respectively to ca. 14 and 11.9 whilst the 0-2 mm sand fractions, also included in the raw minerals and the feed, represent the materials with unisized grains with the respective values of the U factor equal to 3.3 and 2.5.

The scope of conducted experiments covered empiric determination of the following averages:

- weight of water-soaked raw material inside a single bucket  
 $m = 271.56$  kg
- relative humidity of raw material inside a bucket  $w_{cz} = 0.0595$
- relative humidity of feed dispatched to the treatment plant  $w_{zp} = 0.0669$ .

Thus, upon calculation of the  $m$ ,  $w_{cz}$  and  $w_{zp}$  coefficients the equations (1-3) adopt the following forms:

These equations serve as the tool suitable to estimate amounts of actual extraction, delivery of semi-finished products

$$U_T = 15,3241 \cdot \sum_{i=1}^n c_i T_i \quad [\text{Mg}] \quad (1)$$

$$N_T = 0,9331 \cdot M \quad [\text{Mg}] \quad (2)$$

$$P_T = 15,3241 \cdot \sum_{i=1}^n c_i T_i - 0,9331M \quad [\text{Mg}] \quad (3)$$

## Podsumowanie

Przy małej zmienności w uziarnieniu złóż kopalin okrukowych i przy urabianiu koparkami wieloczerpakowymi z rejestratorami elektronicznymi, można wyznaczyć empirycznie wielkości charakterystyczne dla danej eksploatacji, przydatne do określania wielkości: rzeczywistego wydobywania, zwałowania wewnętrznego w wyrobisku nieprzydatnych frakcji urobku oraz nadawy do zakładu przerobczego.

to a treatment plant and the material that is internally dumped back into underwater post-extraction cavities, calculated to the weight of water-free usable minerals.

## Recapitulation and conclusions

When variability of grain size in beds of chipped minerals is low and minerals are excavated with multi-buckets dredger excavators with electronic recorders it is possible to determine, by means of empiric methods, the parameters that are characteristic for each specific operation and suitable for determination of actual extraction, the amount of useless minerals internally dumped back into post-extraction cavities and the feed to a treatment plant.

*Praca została wykonana w ramach projektu p.t. „Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka Nr UDA – POIG.01.03.01.- 00 - 001/09 – 00.*

*The study has been developed within the project ‘Strategies and technological scenarios for management and use of beds with rock minerals’ co-finances from the European Regional Development Fund within the Innovative Economy Operational Program Nr UDA – POIG.01.03.01. – 00 – 001/09 – 00.*

## Literatura / Referenses

- [1] Bęben A., *Maszyny i urządzenia do wydobywania kopalin pospolitych bez użycia materiałów wybuchowych*, Wydawnictwa Uczelniane AGH, Kraków 2008
- [2] Zbiorcza dokumentacja geologiczna złoża kruszywa naturalnego w kat. C1 z jakością surowca w kat. B Rakowice Zbiornik – Przedsiębiorstwo Geologiczne, Wrocław 2007
- [3] Kielbasiewicz W., Nowak J., Owsiany B., Dodatek Nr 2 do Projektu Zagospodarowania Złoża Kruszywa Naturalnego Rakowice Zbiornik, opracowanie nr 646/2007, Protego, Wrocław, 2007
- [4] Myślińska E., *Laboratoryjne badania gruntów*, PWN W-wa, 1992
- [5] Informacja o programach GeoPlan, GeoStar, <http://www.softproj.pnet.pl>
- [6] Norma PN-EN 933-1:2000/A1 z 2006 r. *Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczanie składu ziarnowego. Metoda przesiewania*
- [7] Informacja o koparce wieloczerpakowej firmy ROHR typ KS 160. [www.rohrbagger.de](http://www.rohrbagger.de)
- [8] Informacja o koparce wieloczerpakowej firmy Beyer [www.beyer-viernheim.de](http://www.beyer-viernheim.de)



Z cyklu: kopalnie odkrywkowe

fot. Renata S-K