



# Analiza ryzyka eksploatacyjnego w polskim zakładzie wzbogacania węgla

## Analysis of operational risk in a Polish coal preparation plant

Wojciech CIEŚLAK <sup>1)</sup>, Jerzy SABLİK <sup>2)</sup>, Jerzy MARTYNIĄK <sup>3)</sup>, Helena WYCISK <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Dr inż.; Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Katedra Przeróbki Kopalni i Utylizacji Odpadów; ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice; tel.: (+ 48-32) 237-11-35, faks: (+ 48-32) 237-11-35

<sup>2)</sup> Prof. dr hab.; Główny Instytut Górnictwa, Zakład Oceny Jakości i Wzbogacania Kopalni; Pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice; tel.: (+ 48-32) 259-22-85, faks: (+ 48-32) 259-65-33, e-mail: buxjs@gig.katowice.pl

<sup>3)</sup> Doc. dr hab. inż.; Główny Instytut Górnictwa, Zakład Oceny Jakości i Wzbogacania Kopalni; Pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice; tel.: (+ 48-32) 259 22 48

<sup>4)</sup> Mgr; Główny Instytut Górnictwa, Zakład Oceny Jakości i Wzbogacania Kopalni; Pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice

RECENZENCI: Eur. Ing. Douglas JENKINSON; dr hab. inż. Aleksander LUTYŃSKI, prof. Pol. Śl.

### Streszczenie

W artykule przedstawiono metodykę i wyniki badań umożliwiających charakterystykę zakładu wzbogacania węgla metodą analizy ryzyka w zakresie eksploatacji oraz wnioski, które mogą być wykorzystane przy podejmowaniu decyzji w zakresie zarządzania produkcją oraz decyzji inwestycyjnych.

### Summary

The article presents methodology and results of studies, which allow to characterise a coal preparation plant by means of operational risk analysis and to draw conclusions which could be used for making production management and investment decisions.

## 1. Wstęp

Analiza ryzyka w zakładzie przemysłowym w zakresie inwestycji, eksploatacji, bezpieczeństwa pracy i ochrony środowiska naturalnego to nowoczesne narzędzie umożliwiające racjonalne zarządzanie procesem produkcyjnym i minimalizację strat wynikających z chybionych decyzji i potencjalnych zdarzeń zakłócających produkcję. Szczególnie w przypadku wzbogacania kopalni (węgla) gdzie proces produkcyjny jest złożony, a masa kopalni poddawana przeróbce na ogół duża, analiza ryzyka związanego z różnymi aspektami produkcji może mieć zasadniczy pozytywny wpływ na ciągłość produkcji i wyniki ekonomiczne. Zdarzenia zakłócające produkcję mogą mieć w tym przypadku charakter zewnętrzny w stosunku do cyklu produkcyjnego oraz wewnętrzny. Zakłócenia zewnętrzne mogą wynikać z nieciągłości oraz nierytmiczności dostaw kopaliny do zakładu przerobczego, zmienności jej jakości oraz uwarunkowań marketingowych. Zakłócenia wewnętrzne wynikają ze stanu technicznego zakładu, stosowania prawidłowej technologii oraz kwalifikacji i zaangażowania załogi. Podjęto zatem badania, których celem było opracowanie metodyki umożliwiającej wyznaczanie ryzyka eksploatacyjnego zakładu wzbogacania węgla. Badania realizowano w wybranym zakładzie i przy współpracy z jego kierownictwem gromadzono dane faktograficzne,

## 1. Introduction

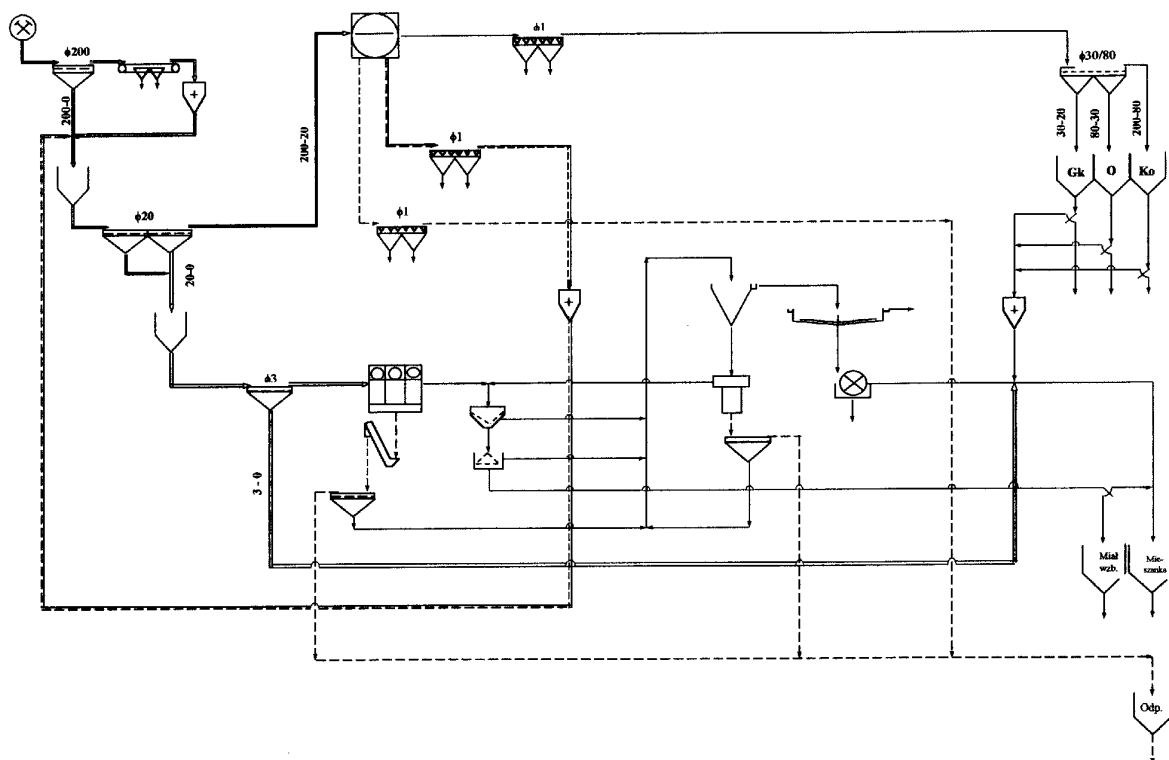
Analysis of risk connected with investments, operation, industrial safety and environmental protection in an industrial plant is a modern tool which enables rational management of production process and minimising losses due to incorrect decisions and potential production-disturbing events. In particular in minerals (coal) preparation plants, where a production process is complex and the amount of mineral subject to preparation is usually large, analysis of risk connected with various production aspects may be of primary importance and strongly affect continuity of production and economic results. In case of a coal preparation plant, production-disturbing events may be of external or internal nature in relation to the production cycle. External disturbances may result from discontinuity or irregularities of coal supplies to the plant, variability of its quality and market conditioning. Disturbances of internal nature result from technical conditions of the plant, processes applied, as well as professional qualifications and involvement of the staff. Thus investigations were undertaken to develop methodology to enable determining operational risk of a coal preparation plant. Investigations were performed at a selected plant and data were acquired in co-operation with the plant management. The data were processed and allowed to calculate probability of events

które po odpowiednim opracowaniu umożliwiły obliczenie prawdopodobieństw zdarzeń zakłócających cykl produkcyjny i określenie ryzyka oraz strat powodowanych tymi zdarzeniami.

W artykule przedstawiono metodykę i wyniki badań umożliwiającą charakterystykę zakładu wzbogacania węgla metodą analizy ryzyka w zakresie eksploatacji oraz wnioski, które mogą być wykorzystane przy podejmowaniu decyzji w zakresie zarządzania produkcją oraz decyzji inwestycyjnych.

## 2. Technologiczna charakterystyka badanego zakładu wzbogacania węgla

Schemat technologiczny zakładu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1.  
Schemat technologiczny zakładu przeróbczego

Fig. 1.  
Process flowsheet of a coal preparation plant

Dostarczony do zakładu węgiel surowy poddawany jest wstępnemu przygotowaniu przed właściwym procesem technologicznym polegającym na wydzieleniu ziarn +200mm, usunięciu z nich zanieczyszczeń niewęglowych oraz kruszeniu do ziarn o wielkości mniejszej od 200mm. Nadawa (klasa ziarnowa -200mm) kierowana jest do węzła klasyfikacji wstępnej i rozsiewana na ziarna +20mm (węgiel gruby) i -20mm (miał surowy). Węgiel gruby wzbogacany jest w separatorach cieczy ciężkiej, a koncentrat poddany klasyfikacji końcowej dla

disturbing production cycle and to determine risk as well as losses resulting from such events.

The article presents the investigations methodology and results which enabled to characterise a preparation plant by a method of operational risk analysis and to draw conclusions which may be used while making decisions on production management and investments.

## 2. Process characteristics of the investigated coal preparation plant

A process flowsheet of the plant is presented in Fig. 1.

uzyskania sortymentów handlowych. Miał surowy klasyfikowany jest na sicie 3(6)mm a ziarna +3(6)mm wzbogacane w osadzarkach pulsacyjnych. Produkt zawierający klasę ziarnową -3(6)mm jest zbywany jako składnik mieszanek energetycznych lub jako produkt finalny. Elementami schematu technologicznego zakładu są także obieg wodno-mułowy, załadunek węgla, drogi transportowe, zbiorniki i zwały węgla, w których występuje prawdopodobieństwo zdarzeń wpływających na ryzyko eksploatacyjne zakładu.

Ryzyko eksploatacyjne analizować można także z punktu widzenia maszyn i urządzeń, które umożliwiają prowadzenie poszczególnych operacji technologicznych. W schemacie technologicznym badanego zakładu są to przenośniki taśmowe, przesiewacze, wzbogacalniki DISA, rekuperatory, kruszarki, osadzarki pulsacyjne, odwadniarki, pompy, podajniki, zbiorniki, przenośniki zgrzeblowe i przenośniki stalowo-członowe.

### **3. Koncepcja tworzenia bazy danych do analizy zagrożeń generujących ryzyko eksploatacyjne**

Do analizy ryzyka eksploatacyjnego węzłów technologicznych z punktu widzenia maszyn i urządzeń stosowanych w procesie technologicznym wytypowano zakład przeróbczy produkujący węgiel do celów energetycznych.

W ramach badań rejestrowano dane o awariach i zdarzeniach zakłócających prawidłowy przebieg procesów technologicznych przebiegających w zakładzie przeróbczym. Dane gromadzono w sposób ciągły przez okres jednego roku, w oparciu o kartę zdarzeń, zawierającą następujące informacje:

- numer węzła technologicznego, w którym nastąpiła awaria,
- dane dotyczące urządzenia, które uległo awarii
  - numer ewidencyjny,
  - data rozpoczęcia eksploatacji,
  - % amortyzacji maszyny,
- zdarzenie określające istotę awarii,
- sposób likwidacji awarii,
- czas usuwania awarii oraz liczba zajmujących się tym osób,
- koszty usunięcia awarii z uwzględnieniem robocizny i materiałów.

Dane te pozwoliły na analizę zdarzających się awarii zarówno w rozbiciu na węzły technologiczne, jak i na zasadnicze rodzaje maszyn i urządzeń.

### **4. Metodyka analizy danych**

Zgodnie z normą ryzyko jest kombinacją częstości lub prawdopodobieństwa wystąpienia określonego zdarzenia i konsekwencji związanych z tym zdarzeniem.

jigs. The product sized -3(6) mm is sold as constituent of steam coal or as a final product. The process flowsheet also includes a slurry-water circuit, coal loading, handling, bunkers and coal stock yard where occurrence of events affecting plant operational is likely.

The operational risk may be also considered from the point of view of machines and equipment of particular plant systems. The process flowsheet of the investigated plant includes belt conveyors, screens, DISA baths, magnetic recuperators, crushers, pulsating jigs, centrifuges, pumps, feeders, scraper and slat conveyors.

### **3. Concept of database for analysis of operational risk generating factors**

Analysis of risk connected with operation of machines and equipment used in plant processes was performed at a plant preparing coal for power generation.

The investigations included recording data on failures and on events disturbing the course of preparation plant processes. Data were acquired continuously for one year, based on event charts, containing the following information:

- number of equipment system where a failure took place,
- data on equipment subject to failure:
  - inventory number,
  - date of putting into operation,
  - percent of depreciation,
- description of the nature of failure,
- method of failure removal,
- time of failure removal and number of personnel involved,
- cost of failure removal, including cost of labour and material.

The above data enabled analysis of failures of particular process systems as well as basic machines and equipment.

### **4. Methodology of data analysis**

According to the standard, a risk is frequency or probability of a specific event occurrence combined with consequences resulting from the event.

Bazując na powyższym stwierdzeniu, ryzyko eksploatacyjne zakładu przerobczego określono według następującego wzoru:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot K_i$$

gdzie:

- $P_i$  – prawdopodobieństwo awarii w węźle technologicznym,
- $K_i$  – koszty usuwania awarii [zł], przyporządkowane danym węzłom technologicznym (z bazy danych),
- $n$  – liczba węzłów technologicznych.

W celu wyznaczenia ryzyka eksploatacyjnego węzłów technologicznych przeprowadzono następujące czynności i obliczenia:

- zgrupowano awarie według ich rodzajów, węzłów technologicznych i długotrwałości,
- w poszczególnych grupach ustalono liczbę awarii i sumaryczny czas ich likwidacji,
- poszczególnym grupom przyporządkowano sumaryczne koszty likwidacji awarii,
- obliczono prawdopodobieństwo awarii  $P_{i_1}$  wg częstości względnej zgodnie ze wzorem:

$$P_{i_1} = \frac{N_i}{N_0}$$

gdzie:

- $N_i$  – liczba awarii w węźle technologicznym
- $N_0$  – liczba awarii w zakładzie przerobczym

- obliczono prawdopodobieństwo awarii  $P_{i_2}$  według wzoru:

$$P_{i_2} = \frac{T_i}{T_0}$$

gdzie:

- $T_i$  – czas usuwania awarii w węźle technologicznym
- $T_0$  – obliczeniowy czas pracy zakładu przerobczego

Przykładowo z ogólnej liczby 295 zarejestrowanych w czasie prowadzenia badań awarii, 75 zanotowano w węźle wzbogacania w cieczy ciężkiej.

W tej liczbie awarii 18 związane było z niesprawnością DISY, 22 z uszkodzeniem napędu bądź niesprawnością przesiewacza, 20 z niesprawnością lub uszkodzeniem napędu pompy, 11 z niedrożnością lub uszkodzeniem przesypu taśmociągu i taśmy transportowej. Dwie awarie związane były z niesprawnością rekuperatora oraz również dwie z uszkodzeniem napędu kruszarki. Jednocześnie czas niezbędny do usunięcia wyszczególnionych awarii wyniósł ponad 176 godzin.

On account of the above, operational risk of a preparation plant was determined according to the following formula:

where:

- $P_i$  – probability of failure in a process system,
- $K_i$  – cost of failure removal [zloty] assigned to particular process systems (from database),
- $n$  – number of process systems.

In order to assess operational risk of process systems the following procedures and calculations were performed:

- failures were grouped according to their kinds, process systems and duration;
- in particular groups the number of failures and total time of removal were determined;
- particular groups were assigned a total cost of failure removal;
- a probability of failure  $P_{i_1}$  was calculated according to relative frequency with use of the formula:

where:

- $N_i$  – number of failures in a process system,
- $N_0$  – number of failures in a preparation plant;

- failure probability  $P_{i_2}$  was calculated according to the formula:

where:

- $T_i$  – time of failure removal in a process system,
- $T_0$  – calculation time of preparation plant operation.

For instance, out of a total number of 295 failures recorded during the study, 75 occurred in HM cleaning system.

Of this number, 18 failures were due to faults of DISA bath, 22 — to drive breakdown or screen inefficiency, 20 — to breakdown or inefficiency of pump drive, 11 — to clogging of transfer or damage of conveyor belting. Two failures were connected with inefficiency of magnetic recuperator and two with a failure of crusher drive. The time necessary to remove particular failures equalled over 176 hours.

The total cost of failure removal in this process system equalled 113 289.51 zloty (26 974 USD).

Sumaryczne koszty usunięcia awarii w tym węźle technologicznym wyniosły 113 289,51 zł.

Obliczone prawdopodobieństwo i ryzyko węzła wzbogacania w cieczy ciężkiej są zatem równe:  
– według częstości zdarzeń:

$$P_{i1} = \frac{75}{295} = 0,2542$$

– według długotrwałości awarii:

$$P_{i2} = \frac{176,3}{3750} = 0,0470$$

$$R = 0,047 \cdot 113289,51 = 5324,61 \text{ zł}$$

przy założeniach:

- czas pracy zakładu przerobczego wynosił 250 dni w roku,
- czas pracy poszczególnych węzłów technologicznych był taki sam.

## 5. Wyniki badań

Na rysunku 2 przedstawiono częstość awarii i ich sumaryczne koszty w rozbiciu na węzły technologiczne, natomiast na rysunku 3 w grupach maszyn i urządzeń.

Rysunek 4 przedstawia awaryjność maszyn i urządzeń w węzłach technologicznych w funkcji prawdopodobieństwa wyrażającego długotrwałość awarii.

Thus, the calculated probability and risk of HM cleaning system is:

– in relation to frequency of events:

– in relation to failure duration:

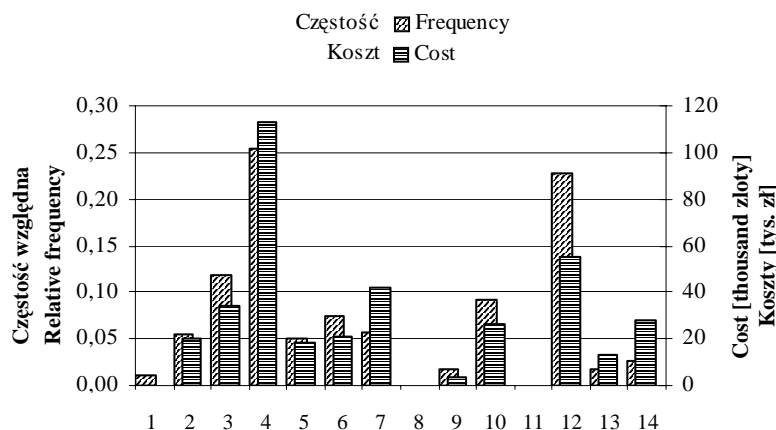
assuming that:

- operation time of coal preparation plant equalled 250 days per year,
- operation time of particular process systems was the same.

## 5. Investigation results

Figure 2 presents failure frequency and total cost with breakdown into particular process systems, whereas Fig. 3 presents failure frequency and cost per groups of machines and equipment.

Fig. 4 presents failure frequency of machines and equipment in process systems as a function of probability expressing failure duration.



Rys. 2

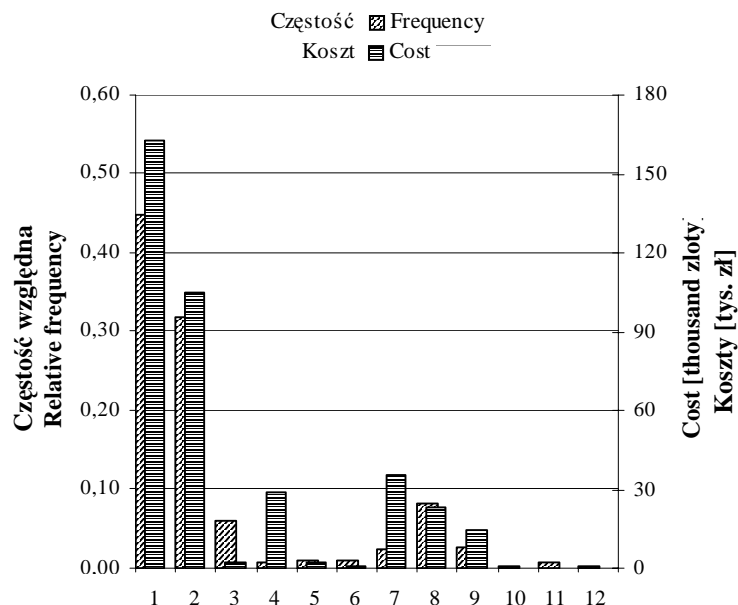
Częstość i sumaryczne koszty awarii w węzłach technologicznych ZP

- 1 – przygotowanie nadawy do klasyfikacji wstępnej;
- 2 – klasyfikacja wstępna nadawy;
- 3 – klasyfikacja wstępna nadawy;
- 4 – wzbogacanie w cieczach ciężkich;
- 5 – klasyfikacja końcowa;
- 6 – klasyfikacja ziarnowa mialu surowego;
- 7 – wzbogacanie mialu w osadzarkach;
- 8 – wzbogacanie ścierów;
- 9 – obieg wodno-mułowy;
- 10 – załadunek węgla;
- 11 – załadunek węgla w rejonie SZ;
- 12 – drogi transportowe międzywęzłowe;
- 13 – zbiorniki;
- 14 – zwały węgla

Fig. 2

Frequency and total cost of failures in process systems of preparation plant

- 1 – preparation of feed for primary screening;
- 2 – primary screening of feed;
- 3 – primary screening of feed;
- 4 – heavy media cleaning;
- 5 – final screening;
- 6 – raw fines screening;
- 7 – fine coal cleaning in jigs;
- 8 – spillage cleaning;
- 9 – slurry-water circuit;
- 10 – coal loading;
- 11 – coal loading in loading station area;
- 12 – handling routes between particular systems;
- 13 – bunkers;
- 14 – coal stock yard



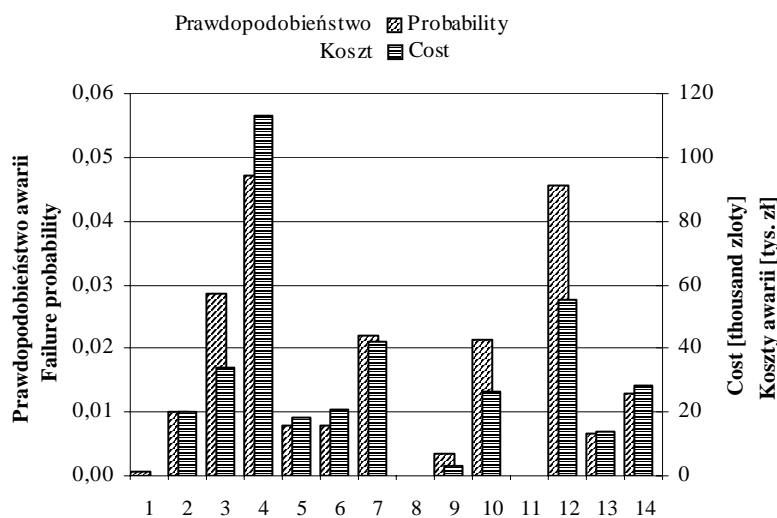
Rys. 3  
Awaryjność różnych urządzeń w ZP

- 1 – przenośniki taśmowe; 2 – przesiewacze;
- 3 – wzbogacalniki Disa; 4 – rekuperatory;
- 5 – kruszarki; 6 – osadzarki pulsacyjne;
- 7 – odwadniarki; 8 – pompy; 9 – podajniki;
- 10 – zbiorniki; 11 – przenośniki zgrzeblowe;
- 12 – przenośniki stalowo-członowe

Fig. 3

Failure frequency of preparation plant equipment

- 1 – belt conveyors; 2 – screens;
- 3 – DISA HM baths; 4 – magnetic recuperators;
- 5 – crushers; 6 – pulsating jigs;
- 7 – centrifuges; 8 – pumps; 9 – feeders;
- 10 – bunkers; 11 – scraper conveyors; 12 – slat conveyors



Rys. 4  
Prawdopodobieństwo awarii i ich sumaryczne koszty w węzłach technologicznych ZP

- 1 – przygotowanie nadawy do klasyfikacji wstępnej; 2 – klasyfikacja wstępna nadawy;
- 3 – klasyfikacja wstępna nadawy; 4 – wzbogacanie w cieczach ciężkich; 5 – klasyfikacja końcowa;
- 6 – klasyfikacja ziarnowa miazła surowego; 7 – wzbogacanie miazła w osadzarkach;
- 8 – wzbogacanie ścierów; 9 – obieg wodno-mułowy; 10 – załadunek węgla; 11 – załadunek węgla w rejonie SZ;
- 12 – drogi transportowe międzywęzłowe; 13 – zbiorniki; 14 – zwały węgla

Fig. 4

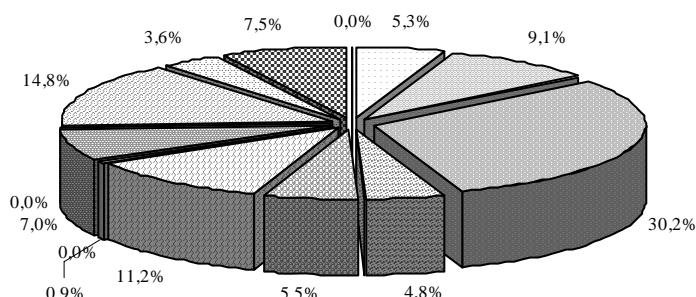
Failure probability and total cost at process systems of preparation plant

- 1 – preparation of feed for primary screening; 2 – primary screening of feed; 3 – primary screening of feed; 4 – heavy media cleaning;
- 5 – final screening; 6 – raw fines screening; 7 – fine coal cleaning in jigs; 8 – spillage cleaning; 9 – slurry-water circuit; 10 – coal loading; 11 – coal loading in loading station area; 12 – handling routes between particular systems; 13 – bunkers; 14 – coal stock yard

Interesująca jest struktura kosztów usuwania awarii w rozbiciu na węzły technologiczne. Przedstawia ją rys. 5. W strukturze tej dominuje węzeł wzbogacania w cieczach ciężkich, na który przypada ponad 30% wszystkich kosztów usuwania awarii. Na drugim miejscu występują drogi transportowe międzywęzłowe z udziałem wynoszącym prawie 15% kosztów. Kolejnym pod względem udziału w kosztach likwidacji awarii jest węzeł wzbogacania mialu w osadzarkach – ponad 11% ogółu kosztów. Na pozostałe węzły przypada 44% ogółu kosztów poniesionych do likwidacji awarii.

- Przygotowanie nadawy do klasyfik. wstępnej (0%)
- Klasyfikacja wstępna nadawy (5,3%)
- Klasyfikacja wstępna nadawy (9,1%)
- Wzbogacanie w cieczach ciężkich (30,2%)
- Klasyfikacja końcowa (4,8%)
- Klasyfikacja ziarnowa mialu surowego (5,5%)
- Wzbogacanie mialu w osadzarkach (11,2%)
- Wzbogacanie ścierów (0%)
- Obieg wodno-miłowy (0,9%)
- Załadunek węgla (7%)
- Załadunek węgla w rejonie SZ (0%)
- Drogi transportowe międzywęzłowe (14,8%)
- Zbiorniki (3,6%)
- Zwaly węgla (7,5%)

- Preparation of feed for primary screening (0%)
- Primary screening of feed (5.3%)
- Primary screening of feed (9.1%)
- Heavy media cleaning (30.2%)
- Final screening (4.8%)
- Raw fines screening (5.5%)
- Fine coal cleaning in jigs (11.2%)
- Spillage cleaning (0%)
- Slurry-water circuit (0.9%)
- Coal loading (7%)
- Coal loading in loading station area (0%)
- Handling routes between particular systems (14.8%)
- Bunkers (3.6%)
- Coal stock yard (7.5%)



Rys. 5  
Struktura kosztów awarii maszyn i urządzeń według węzłów technologicznych

Fig. 5  
Pattern of machines and equipment failure cost per process systems

Z punktu widzenia płynności ruchu zakładu przerobczego, istotne znaczenie ma długotrwałość usuwania awarii. W związku z tym awarie uporządkowano według niezbędnego czasu ich likwidacji. Dokonano podziału rozpiętości czasu, określonej minimalną i maksymalną długotrwałością awarii. Wyniki grupowania przedstawiono w tabelicy 1 oraz na histogramie na rysunku 6.

Grupując awarie według niezbędnego czasu ich likwidacji stwierdzono, że najczęściej było awarii krótkotrwałych (68%), wymagających do usunięcia najwyżej 2 godz. Najmniej było awarii charakteryzujących się średnią długotrwałością ich likwidacji

The time of failure removal is of considerable importance for continuity of plant operation. In view of this, failures were arranged considering time necessary for their removal. The minimum and maximum time of failure removal was determined. The results are presented in Table 1 and on bar chart – Figure 6.

While considering failures according to time required for their removal it was found out that most failures were of short duration (68%), requiring removal time up to 2 hours at the most. The fewest failures were characterised by medium time of removal, equalling 2 to 3.5 hours (10%). Failures which

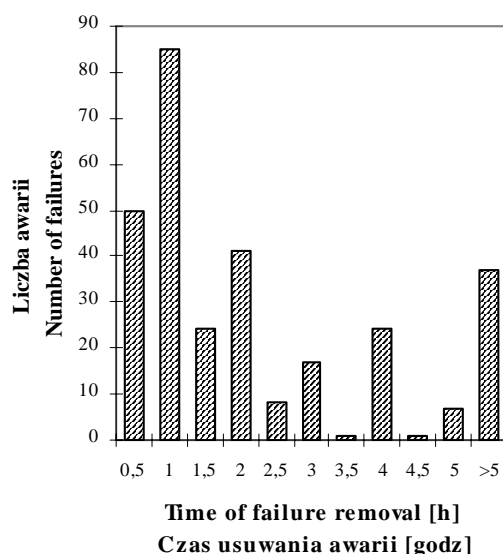
w granicach od 2 do 3,5 godz. (10%). Awarii, których czas usuwania wynosił powyżej 3,5 godz. było około 22%, jednakże koszty ich likwidacji stanowiły aż 75% kosztów wszystkich, zdarzających się awarii.

required over 3.5 hours to remove made about 22%; however, the cost of their removal made as much as 75% of the entire cost of all failures.

Tablica 1  
Długość awarii i ich koszty

Table 1  
Failure duration and cost

Czas usuwania awarii [godz.] Time of failure removal [hours]	Liczba awarii Number of failures	Częstość względna Relative frequency	Koszt usunięcia awarii [zł] Cost of failure removal [zloty]
≤ 0,5	50	0,1695	5 592,55
>0,5 ≤ 1,0	85	0,2881	14 775,13
>1,0 ≤ 1,5	24	0,0814	3 737,57
>1,5 ≤ 2,0	41	0,1390	40 882,74
>2,0 ≤ 2,5	8	0,0271	9 215,43
>2,5 ≤ 3,0	17	0,0576	24 623,46
>3,0 ≤ 3,5	1	0,0034	258,20
>3,5 ≤ 4,0	24	0,0814	46 852,10
>4,0 ≤ 4,5	1	0,0034	522,70
>4,5 ≤ 5,0	7	0,0237	12 045,00
>5,0	37	0,1254	217 207,55
Razem Total	295	1,0000	375 712,43



Rys. 6  
Histogram rozkładu długości usuwania awarii zdarzających się w ZP

Fig. 6  
Bar diagram of failure removal time in preparation plant

W tablicy nr 2 przedstawiono prawdopodobieństwo awarii, koszty usuwania awarii oraz ryzyko eksploatacyjne w analizowanych węzłach technologicznych zakładu przerobczego.

Stwierdzono, że największe ryzyko awarii charakteryzuje węzeł wzbogacania w cieczy ciężkiej oraz drogi transportowe. Mimo że, prawdopodobień-

Table 2 presents probability, cost of failure removal as well as operational risk in analysed process systems of the preparation plant.

It was found out that the highest failure risk characterised the heavy media cleaning system and handling routes. In spite of the fact that probability of these systems failure is similar, the probable



stwa wystąpienia awarii w tych węzłach są zbliżone pod względem wielkości, to prawdopodobna strata w węźle wzbogacania w cieczy ciężkiej jest dwukrotnie wyższa od straty w węźle dróg transportowych.

Dwukrotnie mniejsze jest prawdopodobieństwo wystąpienia awarii w węźle wzbogacania mialu w osadzarkach, a prawdopodobna strata jest relatywnie mniejsza.

losses in the HM cleaning system are twice higher than losses in handling system.

Probability of failure in fine coal cleaning in jigs is lower by half, and probable losses are relatively lower as well.

Tablica 2  
Ryzyko eksploatacyjne węzłów technologicznych

Table 2  
Operational risk of process systems

Nr węzła technologicznego Process system number	Obszar analizowanego ryzyka Risk area	Prawdopodobieństwo awarii Failure probability	Koszt usunięcia awarii, [zł] Cost of failure removal [zloty]	Ryzyko [zł] Risk [zloty]
1	Przygotowanie nadawy do klasyfikacji wstępnej Preparation of feed for primary screening	0,0007	118,75	$8,31 \cdot 10^{-2}$
2	Klasyfikacja wstępna części nadawy -200 +0 mm Primary screening of a part of -200 + 0 mm feed	0,0102	20 079,43	$2,0481 \cdot 10^2$
3	Klasyfikacja wstępna pozostałej ilości nadawy -200 +0 mm Primary screening of the remaining part of -200 + 0 mm feed	0,0287	34 167,97	$9,8062 \cdot 10^2$
4	Wzbogacanie w cieczach ciężkich HM cleaning	0,0470	113 289,51	$5,32461 \cdot 10^3$
5	Klasyfikacja końcowa koncentratu z separatorów cieczy ciężkiej Final screening of HM baths concentrate	0,0079	18 067,72	$1,4274 \cdot 10^2$
6	Klasyfikacja ziarnowa mialu surowego Raw fine coal screening	0,0077	20 809,92	$1,6024 \cdot 10^2$
7	Wzbogacanie mialu w osadzarkach Raw fine coal screening Raw fine coal screening	0,0221	42 060,31	$9,2953 \cdot 10^2$
8	Obieg wodno-mułowy Slurry-water circuit	0,0036	3 282,83	$1,182 \cdot 10^1$
9	Załadunek węgla Coal loading	0,0214	26 422,14	$5,6543 \cdot 10^2$
10	Drogi transportowe międzywęzłowe Handling routes between particular systems	0,0456	55 593,88	$2,53508 \cdot 10^3$
11	Zbiorniki Bunkers	0,0066	13 529,05	$8,929 \cdot 10^1$
12	Zwały węgla Coal stock yards	0,0128	28 290,92	$3,6212 \cdot 10^2$

## 6. Podsumowanie

W rezultacie przeprowadzonych badań i analiz określono podstawowe zagrożenia wynikające z aktualnie istniejącego stanu technicznego zakładu przerobczego. Wskazano obszary technologiczne oraz grupy maszyn i urządzeń zakłócających prawidłowy przebieg jego pracy.

Awarie maszyn i urządzeń wprowadzają niestabilność procesową, której przywrócenie powoduje wydłużenie czasu pracy oraz wzrost kosztów

## 6. Conclusion

As a result of surveys and analyses the basic threats resulting from the present technical condition of the preparation plant were determined. Process systems and groups of machines and equipment disturbing correct operation were shown.

Failures of machines and equipment add to process instability; its reconditioning extends operation time and increases production costs. In the case in question, costs incurred in failure removal equalled

produkcji. W analizowanym przypadku koszty poniesione do usunięcia awarii wyniosły ponad 375 tys. zł, a strata czasu pracy zakładu przerobczego związana z ich likwidacją stanowiła ponad 20% jego rocznego czasu pracy.

Analiza ryzyka z punktu widzenia niezawodności układu technologiczno-maszynowego zakładu przerobczego pozwoliła stwierdzić, że istotne znaczenie dla eksploatacji maszyn i urządzeń mają okresowe przeciążenia oraz zmienność obciążeń, a także istniejące rozwiązania ciągów technologicznych i układu przestrzennego. Umożliwiła wskazanie działań prowadzących do jego zmniejszenia i poprawy efektów ekonomicznych zakładu m.in. poprzez modernizację węzłów operacyjnych i zwiększenie skuteczności ich pracy, zmianę sposobu eksploatacji urządzeń, terminowość ich remontów.

Gromadzenie danych i ich zapis winno być prowadzone w okresie minimum jednego roku obliczeniowego, wówczas materiał dowodowy i jego analiza przybliży stan faktyczny zjawisk występujących w czasie trwania czynnej eksploatacji zakładu.

Analiza ryzyka eksploatacyjnego w obszarze technologii i produkcji od strony zagrożeń związanych ze stanem technicznym bądź konfiguracją linii technologicznych stanowi bazę dla dalszych analiz – kosztowych, modernizacyjnych, bhp zakładu. Stwarza podstawę do podejmowania decyzji w zakresie zarządzania produkcją oraz decyzji inwestycyjnych.

over 375 thousand zloty, and loss of the plant operation time connected with failure removal was over 20% of annual operation time.

Risk analysis performed from the point of view of process–mechanical system reliability demonstrated that temporary overloads and load variability, as well as the existing process solutions and spatial arrangement are of vital importance for operation of machines and equipment. It enabled to present recommendations aimed at lessening the operational risk and improving economic effects of the plant, among others by modernisation of process systems and bettering their efficiency, change of equipment operation manner, frequency of overhauls.

In order to ensure reliability of results, reflecting the actual condition of the plant during its operation, data acquisition and recording should be performed for at least one year.

Analysis of operational risk of plant processes and production, resulting from technical conditions or configuration of production lines is a basis for subsequent analyses – concerning cost, modernisation, and industrial safety. It gives grounds for making decisions on production management and investments.

## 5. Literatura — References

1. Bizon-Górecka J.: *Monitoring czynników ryzyka w przedsiębiorstwie [Monitoring of risk factors in a company]*. Biblioteka Menedżera i Służby Pracowniczej, OPO Bydgoszcz 1994
2. Cieślak W.: *Analiza ryzyka w zakładach przerobczych. Materiały I Szkoły Inżynierii Mineralnej – Polskie Towarzystwo Przeróbki Kopalni [School of the Polish Mineral Processing Society]*, Brenna 2000
3. Drewnicki K.: *AEA Technology – consulting, Wprowadzenie do analizy ryzyka [Introduction to risk analysis]*. Risley, Warrington, UK
4. Malina A., Pawełek B., Wanat S., Zeliaś A.: *Statystyczne metody oceny ryzyka w działalności gospodarczej [Statistic methods of risk assessment in economic activity]*. Issued by AE of Cracow, Cracow 1998.
5. PN-N-18001 – *Occupational health and safety management systems. Requirements.*
6. *The Authors' own documentation.*