

WYKORZYSTANIE MODELU ZŁOŻA W DŁUGOTERMINOWYM PROGNOZOWANIU ZAWARTOŚCI SIARKI S_T^R W WĘGLU BRUNATNYM DOSTARCZANYM DO ELEKTROWNI BEŁCHATÓW

THE USE OF THE DEPOSIT MODEL IN LONG TERM FORECASTING OF SULFUR CONTENT S_T^R IN BROWN COAL SUPPLIED TO BELCHATOW POWER PLANT

Miranda Ptak, Zbigniew Kasztelewicz, Andrzej Gądek - PGE GiEK S.A., Departament Zarządzania Wydobyciem

Realistyczne długoterminowe prognozowanie parametrów węgla dostarczanego z Kopalni do Elektrowni Bełchatów i efektywne zarządzanie i stabilizowanie zawartości siarki w węglu dostarczanym do Elektrowni pozwala na optymalną, ze względu na wydajność i ciągłość funkcjonowania, eksploatację Instalacji Odsiarczania Spalin w elektrowni. Artykuł omawia założenia i sposób opracowania długoterminowej prognozy parametrów jakościowych zbiorczej strugi węgla dostarczanego z Kopalni Bełchatów do Elektrowni Bełchatów. Przedstawiony w artykule proces to aktualny przykład praktycznego wykorzystanie funkcjonującego w Dziale Technologii Górniczej systemu wspomagania planowania robót górniczych działającego w oparciu o stworzony i aktualizowany w Dziale Geologicznym Kopalni cyfrowy model złoża.

Słowa kluczowe: prognoza zawartości siarki w węglu, model jakościowy złoża

Realistic long-term forecasting of the parameters of coal supplied from the Mine to the Belchatow Power Plant allows for optimal, in terms of efficiency and uninterrupted operation, usage of the fumes desulphurization installation operating in the power plant. The article discusses the assumptions and means of developing a long-term quality parameter forecast for the collective coal stream delivered from the Belchatów Mine to the Belchatów Power Plant. The process presented in the article is an up to date example of practical use of mine planning system functioning in the Mining Technology Department, operating on the basis of a digital deposit model created and periodically updated in the Geological Department of the Belchatow Mine.

Keywords: coal sulfur content forecast, deposit quality mode

Wprowadzenie

W ramach realizowanych zadań dotyczących parametrów węgla brunatnego wydobywanego w wyrobisku Pola Szczerców w kontekście perspektywicznych dostaw paliwa do Elektrowni Bełchatów, Departament Zarządzania Wydobyciem wykonał analizę polegającą na:

- ustaleniu aktualnie udokumentowanego rozkładu zawartości siarki w węglu w złożu,
- przetworzeniu ww. informacji z uwzględnieniem planów i zdolności wydobywczych Kopalni,
- oszacowaniu prognozowanych parametrów (w tym S_T^r) zbiorczej strugi węgla opuszczającego wyrobisko Pola Szczerców na przestrzeni lat, do końca eksploatacji.

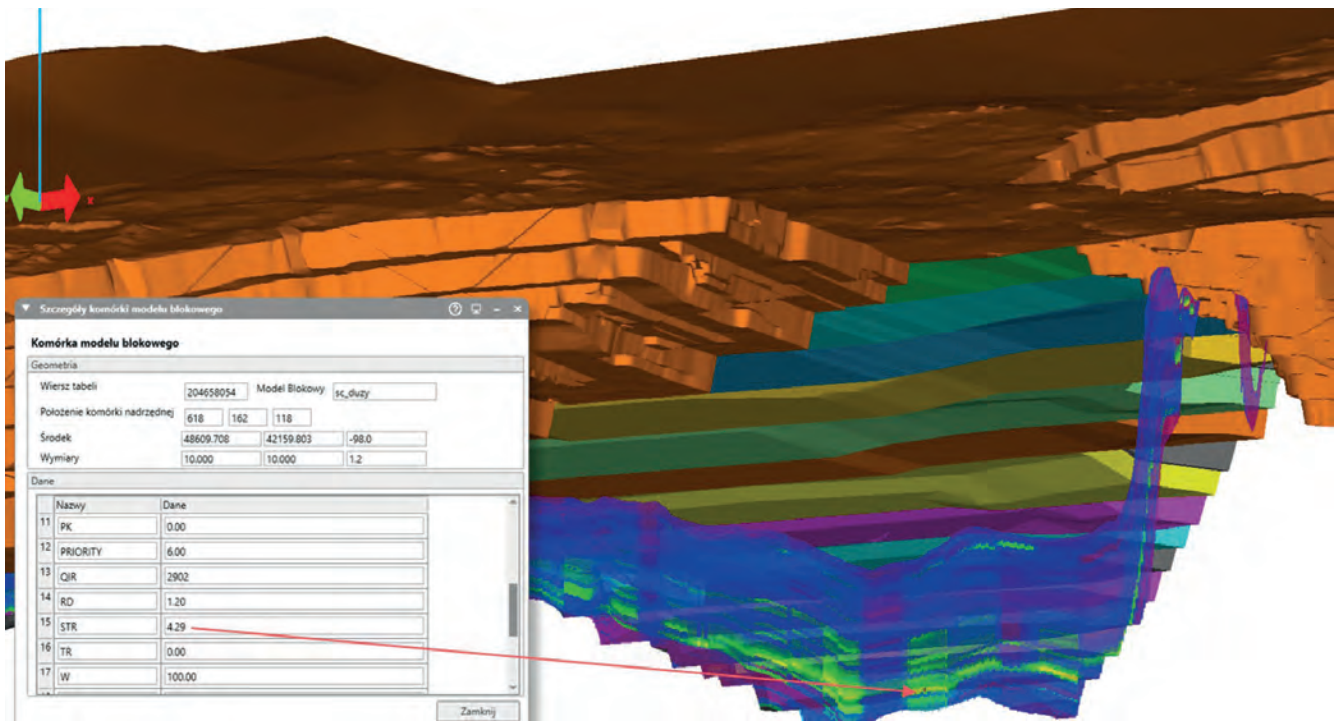
Powyższe działania umożliwiły przygotowanie długoterminowej prognozy zawartości siarki w węglu dostarczanym do Elektrowni Bełchatów.

Przygotowanie danych do prognozy

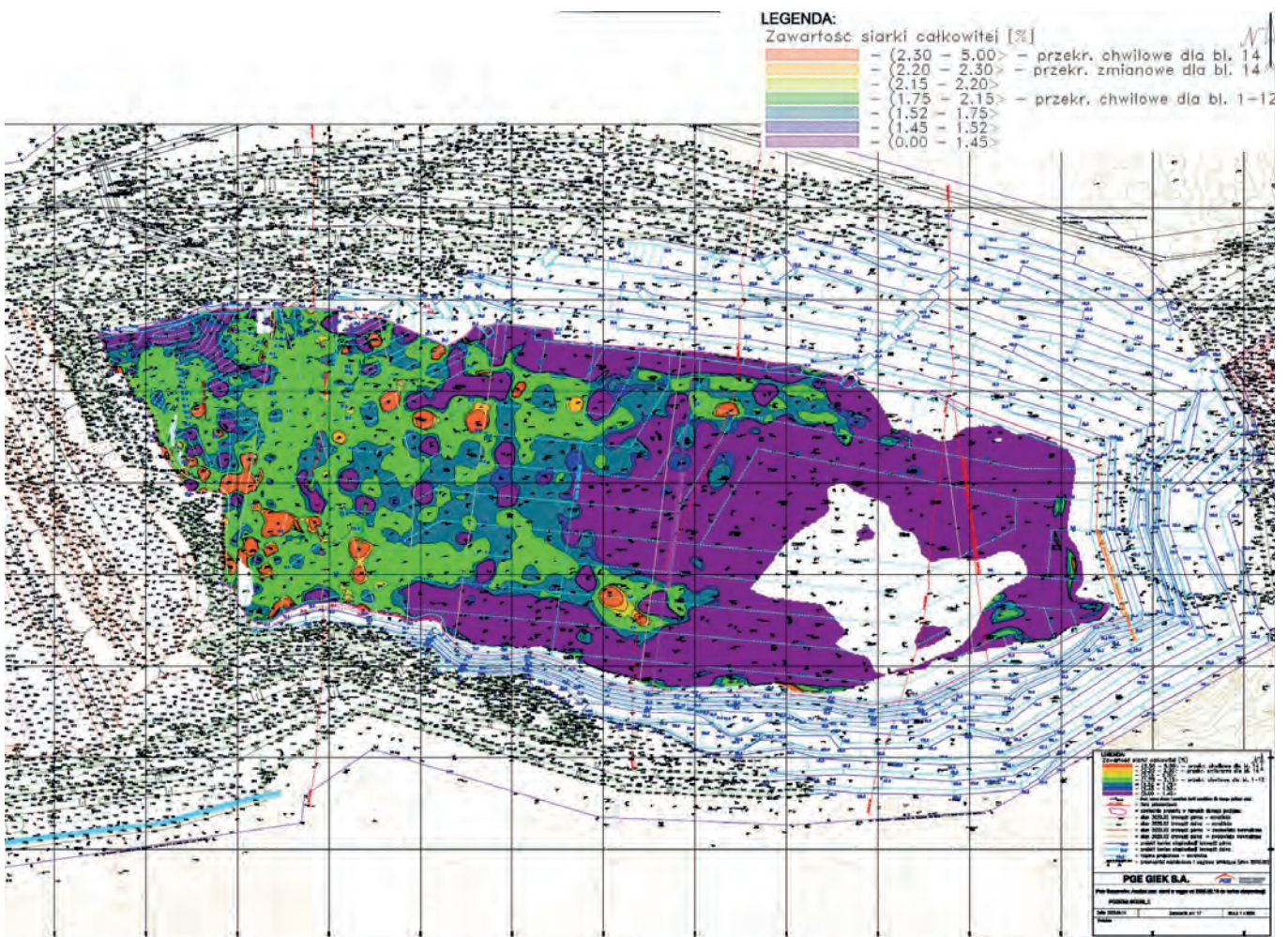
Z uwagi na sposób zalegania pokładów węgla w złożu „Bełchatów - Pole Szczerców”, zawartość siarki w węglu *in situ* przeznaczonym do eksploatacji w ramach poszczególnych poziomów wydobywczych jest bardzo zmienna. Ze względów technologicznych, miąższy kompleks węglowy planowany jest do urobienia w ramach kilku (zależnie do wariantu i lokalizacji - do kilkunastu) poziomów roboczych.

Często (rys. 1), jeden poziom eksploatacyjny obejmuje swoim zasięgiem węgiel z partii przystropowych, środkowych i przyspągowych pokładu - zależnie od wybiegu. Powoduje to konieczność precyzyjnego planowania postępów poziomów celem zapewnienia możliwie niezmiennych wolumenów dostaw paliwa do Elektrowni.

Szacowanie rozkładu zasiarczenia węgla w obrębie poszczególnych poziomów eksploatacyjnych, wymagało analizy dostępnego w Kopalni modelu jakościowego pokładów (tzw. plastrowego) pod kątem przynależności poszcze-



Rys. 1. Przekrój przez Pole Szczerców. Zaleganie pokładu węgla i jego zasiarczenie w porównaniu z geometrią poziomów wydobywczych Kopalni
 Fig. 1. Cross-section of the Szczercow Field mining pit. Coal seam deposit and its sulfur content in comparison to the geometry of the mining benches



Rys. 2. Mapa zasiarczenia węgla w obrębie poziomu eksploatacyjnego VIII (zabierka wschodnia)
 Fig. 2. Map of brown coal sulfur content in the area of mining level no 8

gólnych fragmentów objętości pokładu do poszczególnych poziomów eksploatacyjnych. W wyniku takiej analizy powstały mapy izoliniiowe zasiarczenia węgla w poszczególnych poziomach. Przykładowa mapa izoliniiowe zasiarczenia węgla w danym poziomie eksploatacyjnym przedstawiona jest na rysunku 2.

Rysunek 2 przedstawia jedną z map izoliniiowych zawartości siarki w węglu w obrębie danego poziomu eksploatacyjnego. W ramach omawianego projektu przygotowano tego typu mapy dla wszystkich poziomów eksploatacyjnych zaprojektowanych dla Polu Szczerców.

Celem obliczenia zasobów w kolejnych zaborach koparki w ramach poziomu, obwiednia każdego poziomu roboczego Pola Szczerców została rozdzielona na hipotetyczne zaboriory (przejazdy koparki). Te zaboriory stworzono od stanu wyjściowego, tj. od aktualnego położenia dolnej krawędzi skarpy roboczej poziomu poprzez kluczowe pośrednie położenia skarpy roboczej (i przenośnika) do górnej krawędzi skarpy roboczej na zboczu docelowym (tj. do końca eksploatacji).

Dla poszczególnych zaborów obliczono zasoby operatywne z uwzględnieniem parametrów jakościowych z modelu blokowego złoża (w tym S_1'). Wyniki obliczeń zasobów wraz z nazwami poszczególnych zaborów zapisano na pojedynczym arkuszu kalkulacyjnym. Razem dla wszystkich poziomów - około 4300 wierszy (jeden wiersz dla każdego z zaborów). Fragment tak przygotowanej bazy danych zasobów przedstawiono na rysunku 4.

Przygotowana baza danych zasobów jest niezbędna w celu obliczenia prognozowanych parametrów węgla wydobywanego z każdego z poziomów w kolejnych, stosunkowo krótkich okresach (zamierzona finalna rozdzielczość

czasowa prognozy to jeden miesiąc, przy czym obliczenia prowadzone były na poziomie hipotetycznych tygodni).

Założenia do prognozy

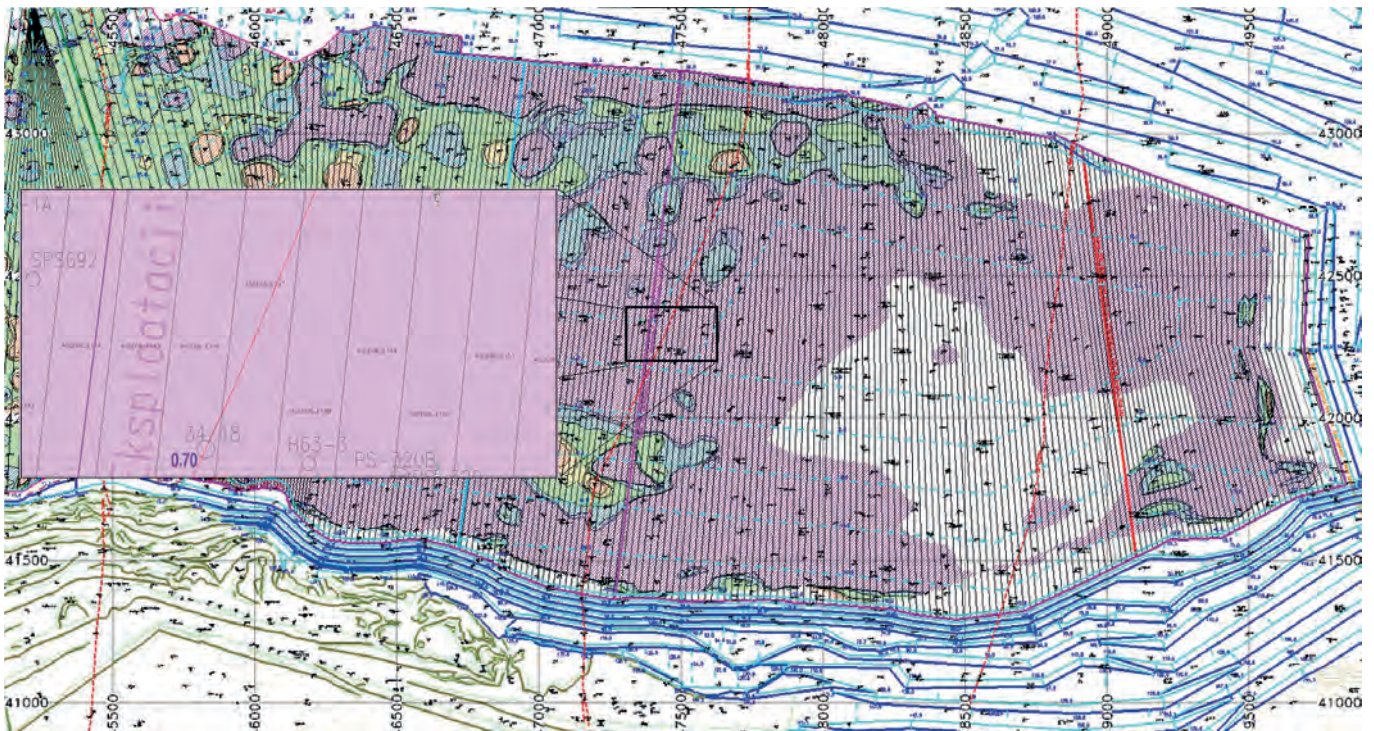
Założenia przyjęte do przygotowania prognozy były zbliżone z aktualną dostępną dokumentacją techniczną planów wydobywczych.

Kolejność eksploatacji w obrębie każdego z poziomów została ustalona poprzez posortowanie wierszy arkusza zasobów osobno w obrębie każdego z poziomów wydobywczych. Dla potrzeb tej długoterminowej prognozy nie dzielono poszczególnych zaborów na sektory, ani na poszczególne tarasy. Założona rozdzielczość czasowa prognozy na poziomie lat (prognozowane wielkości wydobycia i parametry węgla - w podziale na kolejne lata eksploatacji), nie wymagała takiego zagęszczania bloków obliczeniowych.

Kalendarz dostępności koparek został zaimplementowany z długoterminowej dokumentacji technicznej planowanej eksploatacji. Nieplanowane przerwy w pracy koparek zostały ujęte definicją poszczególnych koparek poprzez odpowiednie dobranie ich średnich wydajności.

Wydajność koparek na poszczególnych poziomach została uzgodniona z postępowaniami założonymi w dostępnej aktualnej dokumentacji technicznej planowanej eksploatacji. Rysunek 5 przedstawia sekwencję zaborów jednego z poziomów, ustawioną w kolejności ich eksploatacji wraz z informacją z bazy danych zasobów oraz z założoną wydajnością urabiania w poszczególnych zaborach.

Przyjęte założenia pozwoliły na opracowanie realnej prognozy zawartości siarki w sumarycznej strudze węgla wydobywanego i dostarczanego z Pola Szczerców do Elektrowni Bełchatów.



Rys. 3. Obwiednie zaborów w obrębie poziomu eksploatacyjnego VIII utworzone od aktualnego położenia skarpy roboczej, poprzez kluczowe pośrednie położenia skarpy i przenośnika, do końca eksploatacji

Fig. 3. The boundaries of the mining (passes) strips within mining level no 8, designed in the area from the current position of the working slope toe, through the key intermediate locations of the bench slope and the conveyor belt, until the end of level exploitation

4		Eksploatacja	Eksploatacja	Eksploatacja	Eksploatacja	Eksploatacja	Eksploatacja	Eksploatacja	Eksploatacja	Eksploatacja	Operatywne	Eksplo.+strat. eksplo.	
5	SEKTOR	TOTAL_VOLUME	COAL_VOLUME	COAL_MASS	COAL_STR	COAL_KALNC	COAL_KALNI	COAL_AR	NADKL_VOLUME	COAL_WTR	COAL_WILGN	COAL_MASS	NADKL_VOLUME
6	[nazwa]	[1000 m ³]	[1000 m ³]	[1000 Mg]	[%]	[kcal/kg]	[kJ/kg]	[%]	[1000 m ³]	[%]	[%]	[1000 Mg]	[1000 m ³]
184	CSC02W_0584	89.700	0.000	0.000					89.700			0.000	89.700
185	CSC02W_0588	168.590	5.990	7.150	0.93	2.009	8.411	12.61	162.630	45.61	54.11	6.118	163.047
186	CSC02W_0594	92.980	0.000	0.000					92.980			0.000	92.980
187	CSC02W_0598	184.700	11.030	13.240	0.93	1.981	8.298	13.24	153.670	46.22	53.94	11.328	154.442
188	CSC02W_0604	95.180	0.000	0.000					95.180			0.000	95.180
189	CSC02W_0608	160.830	22.230	26.870	1.14	1.926	8.084	12.20	138.600	48.63	53.23	22.819	140.156
190	CSC02W_0614	97.000	0.000	0.000					97.000			0.000	97.000
191	CSC02W_0618	157.000	48.730	58.480	1.21	1.886	7.899	14.07	108.270	49.64	52.59	50.035	111.681
192	CSC02W_0624	97.940	0.000	0.000					97.940			0.000	97.940
193	CSC02W_0628	155.100	54.520	65.420	1.21	1.934	8.098	12.44	98.580	50.08	53.14	55.973	102.596
194	CSC02W_0634	94.350	0.000	0.000					94.350			0.000	94.350
195	CSC02W_0638	148.400	57.280	66.740	1.37	2.000	8.375	10.38	92.120	50.67	55.94	58.814	96.130
196	CSC02W_0644	89.740	0.000	0.000	1.65	1.817	7.608	19.70	89.740	24.60	52.31	0.000	89.740
197	CSC02W_0648	148.830	56.330	67.800	1.50	2.008	8.409	9.95	89.300	50.76	54.14	57.839	93.248
198	CSC02W_0654	84.670	0.080	0.100	1.43	1.565	6.972	24.48	84.590	24.47	51.14	0.086	84.596
199	CSC02W_0658	141.160	47.110	56.930	1.46	1.985	8.312	10.60	94.050	50.86	53.86	48.967	97.348
200	CSC02W_0664	81.850	0.380	0.480	1.35	1.858	7.780	14.50	81.470	37.69	55.07	0.394	81.497
201	CSC02W_0668	135.490	34.710	41.650	1.44	1.982	8.298	11.33	100.790	50.48	53.85	35.636	103.220

Rys. 4. Fragment arkusza zasobów operatywnych w poszczególnych zaborach

Fig. 4. A fragment of the mining operative resources sheet in particular mining passes (strips)

	Wydajność	500	[m ³ /h]						
	Jeśli skała min.	40	[%]						
	wydajność	1 000	[m ³ /h]						
	15-lut-2020 0:00	zacznie kopać							
Bloki	Nadpisz								
	wydajność								
Nazwa/ Opis	[m³/h]	MASA	NADKL	WĘGIEL OPEF	KALN	AR	WTR	STR	
		1000 m³	[1000 m³]	[1000 Mg]	[kJ/kg]	[%]	[%]	[%]	
ASCE08_E002A	805	0.012	0.001	0.013	7 074	13.55	52.43	1.30	
ASCE08_E002B	805	4.427	0.310	4.545	7 948	10.45	49.14	1.99	
ASCE08_W002A	805	24.766	5.270	21.524	7 011	15.21	54.28	1.88	
ASCE08_E003	805	70.730	5.063	72.497	8 173	9.30	52.08	1.63	
ASCE08_W002B	805	0.028	0.028	0.000	7 392	13.59	52.66	3.13	
ASCE08_E004	805	108.198	7.574	111.089	7 964	9.39	54.31	1.57	
ASCE08_W002C	805	0.340	0.078	0.289	7 547	12.51	43.47	1.89	
ASCE08_E005A	805	140.320	9.822	144.070	7 665	10.38	55.35	1.63	
ASCE08_W003A	805	14.247	2.263	13.230	7 404	13.66	50.07	2.06	
ASCE08_E005B	805	0.035	0.002	0.036	7 426	12.97	47.54	1.98	
ASCE08_W003B	805	73.037	14.802	64.291	6 994	15.10	53.83	1.92	
ASCE08_E005C	805	0.318	0.022	0.326	6 735	18.08	50.20	2.31	
ASCE08_W004	805	149.284	25.767	136.362	7 003	15.34	53.06	1.99	
ASCE08_E005D	805	0.002	0.000	0.002	6 563	19.10	49.61	2.46	

Rys. 5. Kolejność eksploatacji, zasoby i wydajności w poszczególnych zaborach w obrębie danego poziomu eksploatacyjnego

Fig. 5. The order of mining, resources and mining rates in particular mining pass (strip) within a given mining level

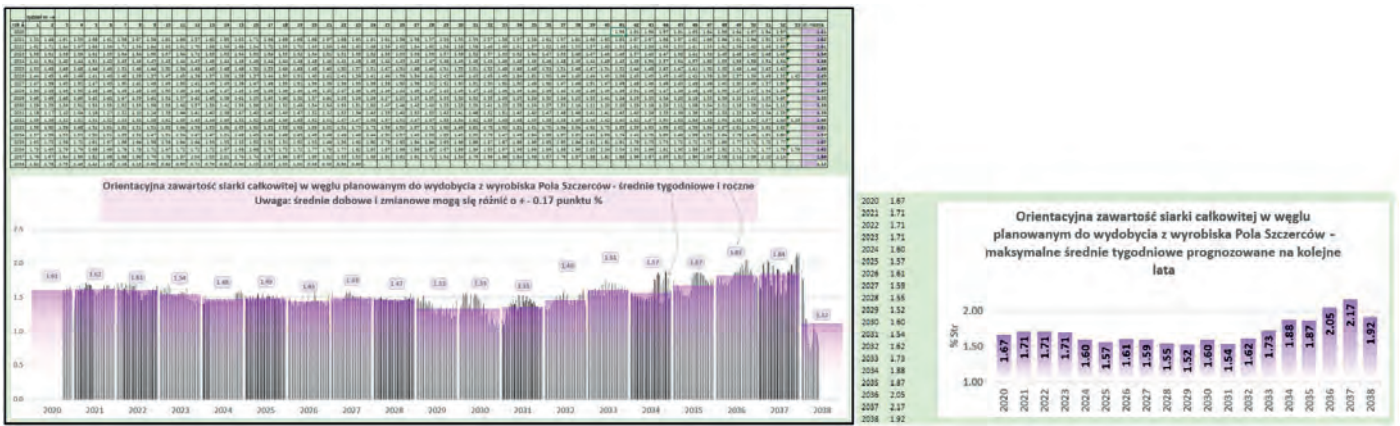
Prognoza

Uwzględniając przyjętą rozdzielczość czasową prognozy, kolejność eksploatacji oraz dostępność i wydajność koparek, obliczono wolumeny wydobywania i parametry urobku (węgiel wraz z parametrami oraz nadkład z wyszczególnieniem piasków i utworów trudno urabialnych) w kolejnych jedynogodniowych okresach prognozy. W wyniku tych obliczeń, dla każdego poziomu powstała tzw. struga urobku w czasie, tj. ilości i parametry urobku rozpisane na kolejne tygodnie prognozy. To z kolei pozwoliło na agregację wyników, celem określenia prognozowanych średnich rocznych oraz umożliwiło oszacowanie wielkości wahań zawartości siarki w węglu dostarczanym do Elektrowni w danym roku.

Rysunek 6 przedstawia koncepcję przeliczenia zasobów obliczonych dla kolejnych zaborów w obrębie danego poziomu eksploatacyjnego na ilości i parametry węgla urobionego na danym poziomie w kolejnych okresach prognozy.

W dalszej kolejności określono parametry summarycznej strugi urobku, w szczególności węgla, ze wszystkich poziomów eksploatacyjnych.

Łączenie strug z poszczególnych poziomów eksploatacyjnych odbywa się na arkuszu z barwnym przedstawieniem ilości węgla i jego parametrów jakościowych. Ilości (masy) urobku z poszczególnych poziomów są sumowane, a parametry - uśredniane z uwzględnieniem masy jako wagi w obliczaniu średniej dla każdego z jedynogodniowych okresów prognozy. Strugi składowe (dla poszczególnych poziomów) są opisane nazwami obwodni zaborów, które były harmonogramowane na koniec każdego z okresów prognozy. To pozwala zidentyfikować na mapie danego poziomu rejon, z którego węgiel w największym stopniu zależy od konkretnej wartości danego parametru węgla (w tym w przypadku najistotniejsza była zawartość siarki) obserwowanej w danym przedziale czasu prognozowanej strugi zbiorczej. Ta informacja stwarza możliwość świadomego sterowania planowaną prędkością postępu poszczególnych



Rys. 8. Prognoza zawartości siarki całkowitej w węglu planowanym do dostarczenia do Elektrowni
Fig. 8. Forecast of total sulfur content in coal planned for delivery to the Power Plant

poziomów, tak by niwelować przewidywane wahania zawartości siarki w strudze zbiorczej. Rysunek 7 przedstawia arkusz używany do agregowania strug z poszczególnych poziomów, z uśrednieniem parametrów jakościowych i z uwzględnieniem ilości węgla jako wagi w procesie uśredniania.

Prognoza

W wyniku wykonania obliczeń omówionych w poprzednim rozdziale, powstała seria prognozowanych wartości średnich tygodniowych zawartości siarki w węglu planowanym do wydobycia z wyrobiska Pola Szczerców na przestrzeni kolejnych lat do końca eksploatacji. Te wielkości posłużyły jako podstawa do obliczenia średnich planowanych rocznych oraz dla każdego roku – spodziewanych maksymalnych średnich tygodniowych. Analiza poprawności opracowanej prognozy wykonana z wykorzystaniem danych z rzeczywistego wydobycia, z przedziału czasu marzec-lipiec 2020 wykazała, że powyższa prognoza w stosunku do rzeczywistości uzyskanych wyników zawartości siarki, jest niedoszacowana o 0,05 punktu procentowego – tj. przy prognozowanej wartości 1,70% – należy przyjmować 1,75%, co wynika z niedoskonałości wykorzystanego modelu numerycznego złoża (w tym niedoskonałość historycznych danych do modelu). Ten wynik analizy został uwzględniony w prognozie. Ostatecznie w prognozie znalazły się: prognozowane średnie roczne oraz dla każdego roku prognozowana maksymalna wartość średnia tygodniowa zawartości siarki w węglu dostarczonym do Elektrowni. Tak przygotowana prognoza zawiera nie tylko spodziewane średnie roczne wielkości zawartości siarki w węglu, ale również spodziewane maksymalne wahania tej wartości (tygodniowe „piki” w górę do średniej rocznej) na przestrzeni każdego roku. We wrześniu 2020 r. prognoza została udostępniona Elektrowni Bełchatów i przyczynia się do optymalizacji wykorzystania pojemności elektrownianej instalacji odsiarczania spalin.

Literatura

- [1] Zbigniew Kasztelewicz: *Koparki wielonaczyniowe i zwalowarki taśmowe. Technologia pracy. Monografia.*: Art.-Tekst, ISBN 8377830361, 9788377830369
- [2] Ryszard Frankowski, Andrzej Gądek: *Komputerowe modele złoża Bełchatów: SITG Wspólne Sprawy* Nr 12 (212) 2010 r., ISSN 1231-8078

Warto zwrócić uwagę, że w prognozie, średnie wartości roczne są wynikiem uśrednienia wartości składowych hipotetycznych tygodniowych (rys. 8, po lewej - cienkie wąskie pionowe słupki), które podlegają znacznym wahaniom w okresie kolejnych lat i różnią się od prognozowanych wartości średnich rocznych (na rys. 8 - szerokie fioletowe pionowe słupki). Podobnie, wartości średnie obliczone dla okresów wieloletnich są znacząco różne od składowych średnich rocznych i nie odzwierciedlają wahań tego parametru, spodziewanych na przestrzeni kolejnych lat. Prawa strona rysunku 8 przedstawia wielkości maksymalnych tygodniowych średnich zawartości siarki obliczonych dla kolejnych lat prognozy.

Wnioski

Wykonane mapy i obliczenia wykazują bardzo duże zróżnicowanie zawartości siarki w węglu. Strefy podwyższonej zawartości siarki obejmują partie brzeżne złoża i dolną część pokładu węgla.

Powyższe rodzi potrzebę planowania wydobycia z uwzględnieniem procesu mieszania węgla z kilku poziomów i dalszej optymalizacji wykorzystania placu uśredniania węgla.

Średnia zawartość siarki w całej pozostałej części złoża nie powinna stanowić podstawy prognozy parametrów węgla dostarczanego do Elektrowni. Taka średnia wieloletnia nie odzwierciedlałaby oczekiwanej zmienności tego parametru w kolejnych miesiącach i latach planowanej eksploatacji złoża.

We wrześniu 2020 r., opisana tu prognoza uwzględniająca średnie roczne jak również maksymalne tygodniowe „piki” oczekiwane w poszczególnych latach, została udostępniona Elektrowni Bełchatów i przyczynia się do optymalizacji wykorzystania pojemności elektrownianej instalacji odsiarczania spalin.