

Andrzej Wichur, Kornel Frydrych*, Agnieszka Zięba**

BADANIA PORÓWNAWCZE METOD OBLICZANIA OBCIĄŻEŃ OBUDOWY WYROBISK KORYTARZOWYCH NIEPODDANYCH DZIAŁANIU WPŁYWÓW EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ**

1. Wstęp

Rozwój techniki budownictwa podziemnego w Polsce w okresie powojennym był ściśle związany z rozwojem budownictwa górniczego. Konieczność udostępnienia złóż na coraz większych głębokościach oraz w coraz gorszych warunkach geologiczno-górnicych powodowała, że nastąpił rozwój techniki drążenia i obudowy wyrobisk podziemnych, a w szczególności konstrukcji obudowy podziemnych wyrobisk korytarzowych [13].

Do wymiarowania konstrukcji obudów opracowano różnorodne metody obliczeń. Stosowane w okresie powojennym rozwiązania okazały się nieprzydatne w nowo napotkanych warunkach geologiczno-górnicych (większe głębokości, zawodnienie, większe przekroje poprzeczne i in.). Konieczne stało się opracowanie nowych zasad uwzględniających nowe uwarunkowania, a opartych na podstawach naukowych oraz ściśle powiązanych z systemem obowiązujących norm projektowych [13].

Badania przeprowadzone w OBR BG „Budokop” zostały wykorzystane przy opracowywaniu norm branżowych [1–3]. Praktyczne użycie tych metod w projektowaniu stworzyło możliwość rozszerzenia zakresu ich stosowania do projektowania obudów długotrwałych wyrobisk podziemnych w budownictwie górniczym, hydrotechnicznym i komunikacyjnym objętego nowo opracowanymi normami [8, 9, 13].

Przedmiotem niniejszej pracy jest analiza i porównanie metod służących do obliczenia obciążeń, które działają na obudowę wyrobisk korytarzowych. Zakres pracy obejmuje wyłącznie wyrobiska, które nie są poddane działaniu wpływów eksploatacji górniczej. W celach porównawczych uwzględniono jedynie wpływ obciążeń pionowych.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** W pracy wykorzystano wyniki uzyskane w ramach badań własnych nr 10.10.100

2. Przegląd metod obliczania obciążeń obudowy wyrobisk korytarzowych niepoddanych działaniu wpływów eksploatacji górniczej

W celu wyznaczenia obciążeń działających na obudowę posłużyć się można jedną z szeregu dostępnych metod. Są one wynikiem wieloletnich prac badawczych i doświadczeń praktycznych. Poszczególne z nich różnią się między sobą założeniami i jednocześnie rezultatami obliczeń. Dlatego, aby otrzymać najbliższy rzeczywistym zjawiskom wynik, należy odpowiednio dobrać metodę do panujących w analizowanym przypadku warunków.

Ze względu na rodzaj obciążeń (statyczne bądź deformacyjne), metody służące do ich wyznaczenia podzielono na dwie zasadnicze grupy. Do wyznaczenia obciążeń statycznych wykorzystano metodę Protodiakonowa, Cymbariewicza, Sałustowicza, Kłeczka, Terzaghiego, Gałczyńskiego, GIG, Bieniawskiego (RMR), a także opracowania Zespołów pod przewodnictwem prof. Chudka oraz prof. Drzęźli. Do wyznaczenia obciążeń deformacyjnych posłużono się normami [8, 9].

W pracy wykorzystano 13 różnych metod obliczeniowych:

- 1) metodę Protodiakonowa [7, 8],
- 2) metodę Cymbariewicza (dla wyrobisk z parabolicznym sklepieniem ciśnień) [7],
- 3) metodę Cymbariewicza (dla wyrobisk z trójkątnym sklepieniem ciśnień) [7],
- 4) metodę Sałustowicza [7],
- 5) metodę Kłeczka [7],
- 6) metodę Terzaghiego [7],
- 7) metodę Gałczyńskiego [6],
- 8) metodę GIG [11],
- 9) metodę zespołu pod przewodnictwem Chudka [4],
- 10) metodę zespołu pod przewodnictwem Drzęźli [5],
- 11) metodę Bieniawskiego (RMR) [12],
- 12) metodę według normy PN-G-05020:1997,
- 13) metodę według normy PN-G-05600:1998.

3. Założenia do analizy, warianty obliczeniowe i wyniki obliczeń

Dla celów porównawczych w pracy przyjęto następujące założenia:

- jednorodny górotwór,
- brak uskoków,
- pojedyncze wyrobisko,
- poziome nachylenie masywu skalnego,
- brak wpływów eksploatacji,
- brak wstrząsów i obciążeń dynamicznych.

Do obliczeń przyjęto wartości parametrów obliczeniowych charakteryzujących górotwór. Uwzględniono tylko obciążenia pionowe (statyczne lub deformacyjne) oddziałujące na 1 m² powierzchni wyrobiska.

W pracy przyjęto następujące dane wejściowe:

- współczynnik zwięzłości skał według Protodiakonowa: $f = 1,5; 3,0; 5,0$;
- przekrój wyrobiska: ŁP1/V25/A, ŁP7/V25/A, ŁP10/V25/A;
- głębokość wyrobiska: $H = 500$ m; 750 m; 1000 m.

Wszystkie możliwe kombinacje danych wejściowych objęły 27 różnych wariantów obliczeniowych.

Wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych skał przyjęto według załącznika do normy [3] i zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych skał w zależności od współczynnika zwięzłości według Protodiakonowa (załącznik do [3])

f	$\varphi_s^{(r)}$...°	$\phi_s^{(r)}$...°	$\nu_s^{(r)}$	$c_s^{(r)}$ kPa	$E_s^{(r)}$ kPa	$\epsilon_{ns}^{(r)}$	$R_{rs}^{(r)}$ kPa	$R_{cs}^{(r)}$ kPa	$\gamma^{(r)}$ kN/m ³
1,5	46,4	33,3	0,25	3900	3 150 000	0,0037	720	10 500	26,9775
3	64,5	36,7	0,22	6300	5 250 000	0,0034	1320	21 000	26,9775
5	74,1	40,6	0,19	7100	8 050 000	0,0031	1980	35 000	26,9775

gdzie:

- f — wskaźnik zwięzłości skał według Protodiakonowa,
- $\varphi_s^{(r)}$ — obliczeniowa wartość pozornego kąta tarcia wewnętrznego skały, ...°,
- $\phi_s^{(r)}$ — obliczeniowa wartość efektywnego kąta tarcia wewnętrznego skały, ...°,
- $\nu_s^{(r)}$ — obliczeniowa wartość liczby Poissona skały,
- $c_s^{(r)}$ — obliczeniowa wartość spójności skały, kPa,
- $E_s^{(r)}$ — obliczeniowa wartość współczynnika sprężystości skały, kPa,
- $\epsilon_{ns}^{(r)}$ — obliczeniowa wartość granicznego jednostkowego odkształcenia podłużnego skały,
- $R_{rs}^{(r)}$ — obliczeniowa wartość wytrzymałości skały na rozciąganie, kPa,
- $R_{cs}^{(r)}$ — obliczeniowa wartość wytrzymałości skały na ściskanie, kPa,
- $\gamma^{(r)}$ — obliczeniowa wartość ciężaru objętościowego skał nadległych, kN/m³.

Wartości parametrów określających wymiary wyrobiska zaczerpnięto z normy [10].

W obliczeniach wartości obciążenia działającego na obudowę (metodą GIG [11]) wskaźnikowi f przyporządkowano odpowiednio wartości współczynnika wpływu wilgotności skał

na ich wytrzymałość R_S (tab. 2) oraz wartości wskaźnika podzielności rdzenia wiertniczego RQD (tab. 3).

TABELA 2

Wartość współczynnika wpływu wilgotności skał na ich wytrzymałość R_S w zależności od wartości współczynnika zwięzłości skał f

f	R_S
1,5	0,5
3	0,75
5	1,0

TABELA 3

Wartość wskaźnika podzielności rdzenia wiertniczego RQD w zależności od wartości współczynnika zwięzłości skał f

f	Klasa podzielności skał	RQD
1,5	płytowa	25
3	blokowa	50
5	masywna	75

Do obliczeń metodą według opracowania Zespołu Chudka [4] przyjęto przyporządkowanie współczynnika osłabienia masywu za względu na jego klasę podzielności (d_1) według tabeli 4 i współczynnika rozmakalności (d_2) według tabeli 5.

TABELA 4

Zestawienie wartości współczynnika osłabienia masywu d_1 ze względu na klasę podzielności i wskaźnik podzielności skał f

f	Klasa podzielności skał	d_1
1,5	płytowa	0,7
3,0	blokowa	0,9
5,0	masywna	1,0

TABELA 5

Zestawienie wartości współczynnika osłabienia masywu (współczynnik rozmakalności) d_2 ze względu na rozmakalność r według GIG

f	r	d_2
1,5	0,6	0,6
3,0	0,75	0,75
5,0	0,85	0,85

W obliczeniach przeprowadzonych na podstawie normy [9] do modelu ośrodka sprężystego wzięto pod uwagę obciążenie od górotworu spękanego na skutek prowadzenia robót strzałowych.

Przyjęto:

$$q_{N \min} = \gamma \cdot 1 \quad (1)$$

$$q_{N \max} = \gamma \cdot 2 \quad (2)$$

gdzie:

$q_{N \min}$ — minimalne obciążenie charakterystyczne, kPa,

$q_{N \max}$ — maksymalne obciążenie charakterystyczne, kPa,

γ — ciężar objętościowy skał nadległych, kN/m³.

W powyższych wzorach liczby 1,0 i 2,0 oznaczają zasięg spękań powstałych w wyniku prowadzenia robót strzałowych.

Zgodnie z przyjętymi wstępnie założeniami w obliczeniach uwzględniono parametry geotechniczne górotworu. Wartości tych parametrów określono na podstawie normy [8] i zestawiono w tabeli 6.

TABELA 6

Wartości parametrów geotechnicznych górotworu w zależności od współczynnika zwięzłości skał według Protodiakonowa

f	k_0	k_1	Φ_g ...°	ϕ_g ...°	ν_g	c_g kPa	E_g kPa	ϵ_{ng}	R_{rg} kPa	R_{cg} kPa
1,5	0,5	1,2	38,67	27,75	0,25	1950	2 625 000	0,0056	360	5250
3	0,5	1,15	56,09	31,91	0,22	3150	4 565 217	0,0051	660	10 500
5	1,0	1,05	70,57	38,67	0,19	7100	7 666 667	0,0047	1980	35 000

gdzie:

f — wskaźnik zwięzłości skał według Protodiakonowa,

k_0 — współczynnik uzależniony od podzielności i liczby rozmakalności skał [8],

k_1 — współczynnik uzależniony od podzielności i liczby rozmakalności skał [8],

Φ_g — pozorny kąt tarcia wewnętrznego górotworu, ...°,

ϕ_g — efektywny kąt tarcia wewnętrznego górotworu, ...°,

ν_g — liczba Poissona górotworu,

c_g — spójność górotworu, kPa,

E_g — współczynnik sprężystości górotworu, kPa,

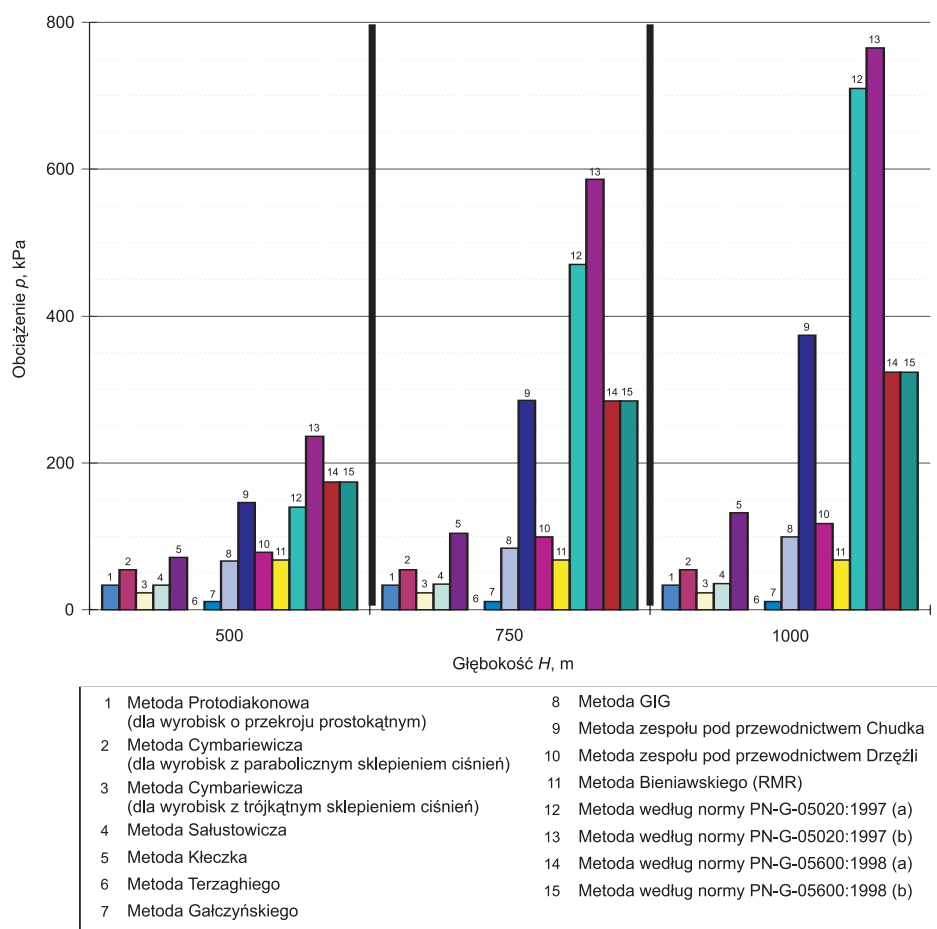
ϵ_{ng} — graniczne jednostkowe odkształcenie podłużne górotworu,

R_{rg} — wytrzymałość górotworu na rozciąganie, kPa,

R_{cg} — wytrzymałość górotworu na ściskanie, kPa.

Obliczenia wykonano w oparciu o metody opisane w 2 części artykułu. W każdej z nich uwzględniono 27 wariantów obliczeniowych, które wynikają z przyjętych danych wejściowych. Do wyznaczenia obciążeń oddziałujących na obudowę wyrobisk korytarzowych posłużono się programem Microsoft Excel.

Wyniki obliczeń z poszczególnych metod zestawiono w tabeli 7 (na wklejce), a fragment graficznego opracowania na rysunku 1.



Rys. 1. Wykres zależności pomiędzy obciążeniem p a głębokością H (dla $f=3$ i ŁP10/V25/A)

4. Porównanie i analiza otrzymanych wyników

Analiza wyników obliczeń zawartych w tabeli 7 wskazuje na ich ogromny rozrzut wyników, w związku z czym pojawiła się konieczność uszeregowania metod obliczeń z punktu widzenia uzyskiwanych wartości obliczeń.

TABELA 7

Zestawienie wartości obliczeniowych obciążeń otrzymanych w poszczególnych metodach

Wariant obliczeniowy	Metoda Protodiakonowa (dla wyrobisk o przekroju prostokątnym) p , kPa	Metoda Cymbariewicza (dla wyrobisk z parabolicznym sklepieniem ciśnieni) p , kPa	Metoda Cymbariewicza (dla wyrobisk z trójkątnym sklepieniem ciśnieni) p , kPa	Metoda Sałustowicza p , kPa	Metoda Kłeczka p , kPa	Metoda Terzagiego p , kPa	Metoda Galczyńskiego p , kPa	Metoda GIG p , kPa	Metoda zespołu pod przewodnictwem Chudka p , kPa	Metoda zespołu pod przewodnictwem Drzęzli p , kPa	Metoda Bieniawskiego (RMR) p , kPa	Metoda według normy PN-G-05020:1997		Metoda według normy PN-G-05600:1998	
												P_1 , kPa	P_2 , kPa	P_{min} , kPa	P_{max} , kPa
I	28,1	68,6	32,8	8,7	59,9	0,0	12,8	167,1	–	218,1	36,3	217,0	277,4	230,9	230,9
II	28,1	68,6	32,8	8,9	80,9	0,0	12,8	211,6	–	276,3	36,3	391,2	407,6	269,4	269,4
III	28,1	68,6	32,8	9,0	98,7	0,0	12,8	249,0	–	325,1	36,3	560,8	508,5	292,4	292,4
IV	15,1	28,9	12,5	12,4	32,5	0,0	5,1	69,5	98,0	82,3	30,9	47,4	62,6	104,7	104,7
V	15,1	28,9	12,5	12,9	47,4	0,0	5,1	88,1	182,0	104,2	30,9	137,4	174,4	170,5	170,5
VI	15,1	28,9	12,5	13,1	59,9	0,0	5,1	103,7	245,0	122,6	30,9	214,1	231,6	194,0	194,0
VII	7,9	12,0	5,7	14,7	2,5	0,0	2,5	24,5	9,0	22,5	21,6	15,5	15,5	35,1	70,1
VIII	7,9	12,0	5,67	16,6	10,7	0,0	2,5	31,0	58,0	28,5	21,6	20,8	20,8	35,1	70,1
IX	7,9	12,0	5,7	39,8	17,6	0,0	2,5	36,5	79,0	33,5	21,6	21,1	29,6	56,3	56,3
X	47,2	97,4	45,7	17,9	100,6	0,0	21,5	152,5	–	199,2	60,9	516,5	653,2	315,7	315,7
XI	47,2	97,4	45,7	18,3	136,0	0,0	21,5	193,2	–	252,4	60,9	910,6	947,7	368,3	368,3
XII	47,2	97,4	45,7	18,5	165,8	0,0	21,5	227,4	–	297,0	60,9	1294,3	1176,1	399,7	399,7
XIII	25,4	42,5	17,9	24,9	54,6	0,0	8,6	65,8	123,0	77,9	52,0	86,2	151,6	146,2	146,2
XIV	25,4	42,5	17,9	25,8	79,6	0,0	8,6	83,4	240,0	98,6	52,0	310,2	388,4	238,9	238,9
XV	25,4	42,5	17,9	26,3	100,6	0,0	8,6	98,1	320,0	116,1	52,0	472,4	509,5	272,0	272,0
XVI	13,3	18,4	8,5	29,2	4,3	0,0	4,2	23,7	14,0	21,84	36,3	26,0	26,0	35,1	70,1
XVII	13,3	18,4	8,5	32,7	18,0	0,0	4,2	30,1	84,0	27,7	36,3	32,5	32,5	35,1	70,1
XVIII	13,3	18,4	8,5	34,4	29,5	0,0	4,2	35,4	101,0	32,6	36,3	53,9	70,6	79,7	79,7
XIX	61,8	123,4	57,6	24,3	131,8	0,0	28,2	153,0	–	199,9	79,8	805,7	1014,7	371,1	371,1
XX	61,8	123,4	57,6	24,9	178,1	0,0	28,2	193,9	–	253,2	79,8	1408,2	1464,9	432,7	432,7
XXI	61,8	123,4	57,6	25,1	217,1	0,0	28,2	228,1	–	298,0	79,8	1994,8	1814,1	469,6	469,6
XXII	33,3	54,3	22,8	33,7	71,5	0,0	11,3	66,4	146,0	78,5	68,1	139,6	236,2	173,8	173,8
XXIII	33,3	54,3	22,8	35,0	104,2	0,0	11,3	84,1	285,0	99,5	68,1	470,4	585,9	284,4	284,4
XXIV	33,3	54,3	22,8	35,6	131,8	0,0	11,3	98,9	374,0	117,0	68,1	710,0	764,7	323,8	323,8
XXV	17,4	23,6	10,9	39,5	5,6	0,0	5,5	24,0	19,0	22,1	47,5	34,0	34,0	35,1	70,1
XXVI	17,4	23,6	10,9	44,1	23,5	0,0	5,5	30,4	109,0	28,0	47,5	42,1	42,1	42,1	70,1
XXVII	17,4	23,6	10,92	46,4	38,6	0,0	5,5	35,8	123,0	32,9	47,5	84,7	108,4	95,3	95,3

TABELA 8

Zestawienie względnych wartości obciążeń

Numer wariantu obliczeń i	Wartość średnia \bar{x}_i	Odchylenie standardowe s_i	Względna wartość obciążenia uzyskanego metodą													
			Metoda Protodiakonowa (dla wyrobisk o przekroju prostokątnym)	Metoda Cymbariewiczza (dla wyrobisk z parabolicznym sklepieniem ciśnien)	Metoda Cymbariewiczza (dla wyrobisk z trójkątnym sklepieniem ciśnien)	Metoda Sałustowicza	Metoda Kłeczka	Metoda Terzagiego	Metoda Galczyńskiego	Metoda GIG	Metoda zespołu pod przewodnictwem Chudka	Metoda zespołu pod przewodnictwem Drzęzli	Metoda Bieniawskiego (RMR)	Metoda według normy PN-G-05020:1997	Metoda według normy PN-G-05020:1997	Metoda według normy PN-G-05600:1998
I	113,4647	102,8811	-0,83	-0,44	-0,78	-1,02	-0,52	-1,10	-0,98	0,52	-1,10	1,02	-0,75	1,01	1,59	1,14
II	149,5654	148,5622	-0,82	-0,55	-0,79	-0,95	-0,46	-1,01	-0,92	0,42	-1,01	0,85	-0,76	1,63	1,74	0,81
III	179,6163	191,7610	-0,79	-0,58	-0,77	-0,89	-0,42	-0,94	-0,87	0,36	-0,94	0,76	-0,75	1,99	1,72	0,59
IV	47,1130	37,2458	-0,86	-0,49	-0,93	-0,93	-0,39	-1,26	-1,13	0,60	1,37	0,94	-0,43	0,01	0,41	1,55
V	78,6595	71,1990	-0,89	-0,70	-0,93	-0,92	-0,44	-1,10	-1,03	0,13	1,45	0,36	-0,67	0,83	1,34	1,29
VI	98,0386	93,4795	-0,89	-0,74	-0,92	-0,91	-0,41	-1,05	-0,99	0,06	1,57	0,26	-0,72	1,24	1,43	1,03
VII	17,2752	17,4725	-0,53	-0,30	-0,66	-0,15	-0,84	-0,99	-0,84	0,41	-0,47	0,30	0,25	-0,10	-0,10	1,02
VIII	22,7527	19,7981	-0,75	-0,54	-0,86	-0,31	-0,61	-1,15	-1,02	0,42	1,78	0,29	-0,06	-0,10	-0,10	0,62
IX	27,9658	22,7284	-0,88	-0,70	-0,98	0,52	-0,46	-1,23	-1,12	0,38	2,25	0,25	-0,28	-0,30	0,07	1,25
X	181,7284	200,3618	-0,67	-0,42	-0,68	-0,82	-0,40	-0,91	-0,80	-0,15	-0,91	0,09	-0,60	1,67	2,35	0,67
XI	247,6809	313,5035	-0,64	-0,48	-0,64	-0,73	-0,36	-0,79	-0,72	-0,17	-0,79	0,01	-0,60	2,11	2,23	0,38
XII	303,6644	418,1428	-0,61	-0,49	-0,62	-0,68	-0,33	-0,73	-0,67	-0,18	-0,73	-0,02	-0,58	2,37	2,09	0,23
XIII	68,1890	52,1717	-0,82	-0,49	-0,96	-0,83	-0,26	-1,31	-1,14	-0,05	1,05	0,19	-0,31	0,34	1,60	1,50
XIV	123,3490	125,3035	-0,78	-0,64	-0,84	-0,78	-0,35	-0,98	-0,92	-0,32	0,93	-0,20	-0,57	1,49	2,11	0,92
XV	155,5671	171,0467	-0,76	-0,66	-0,80	-0,76	-0,32	-0,91	-0,86	-0,34	0,96	-0,23	-0,61	1,85	2,07	0,68
XVI	22,0643	17,3765	-0,50	-0,21	-0,78	0,41	-1,02	-1,27	-1,03	0,10	-0,46	-0,01	0,82	0,23	0,23	0,75
XVII	29,5606	22,6755	-0,72	-0,49	-0,93	0,14	-0,51	-1,30	-1,12	0,02	2,40	-0,08	0,30	0,13	0,13	0,24
XVIII	39,8388	30,8071	-0,86	-0,70	-1,02	-0,18	-0,34	-1,29	-1,16	-0,14	1,99	-0,24	-0,12	0,46	1,00	1,29
XIX	244,4557	307,4027	-0,59	-0,39	-0,61	-0,72	-0,37	-0,80	-0,70	-0,30	-0,80	-0,14	-0,54	1,83	2,51	0,41
XX	338,5234	485,3759	-0,57	-0,44	-0,58	-0,65	-0,33	-0,70	-0,64	-0,30	-0,70	-0,18	-0,53	2,20	2,32	0,19
XXI	419,0834	648,6968	-0,55	-0,46	-0,56	-0,61	-0,31	-0,65	-0,60	-0,29	-0,65	-0,19	-0,52	2,43	2,15	0,08
XXII	87,2664	70,1505	-0,77	-0,47	-0,92	-0,76	-0,23	-1,24	-1,08	-0,30	0,84	-0,12	-0,27	0,75	2,12	1,23
XXIII	161,4826	180,2080	-0,71	-0,59	-0,77	-0,70	-0,32	-0,90	-0,83	-0,43	0,69	-0,34	-0,52	1,71	2,35	0,68
XXIV	204,6170	248,1196	-0,69	-0,61	-0,73	-0,68	-0,29	-0,82	-0,78	-0,43	0,68	-0,35	-0,55	2,04	2,26	0,48
XXV	25,8993	18,3004	-0,46	-0,12	-0,82	0,74	-1,11	-1,42	-1,11	-0,10	-0,38	-0,21	1,18	0,44	0,44	0,50
XXVI	35,7607	27,2582	-0,67	-0,44	-0,91	0,30	-0,45	-1,31	-1,11	-0,20	2,69	-0,28	0,43	0,23	0,23	0,23
XXVII	51,0326	40,0227	-0,84	-0,68	-1,00	-0,12	-0,31	-1,28	-1,14	-0,38	1,80	-0,45	-0,09	0,84	1,43	1,11
		Wartość średnia	-0,72	-0,51	-0,81	-0,48	-0,45	-1,05	-0,94	-0,02	0,50	0,08	-0,29	1,09	1,40	0,77

W tym celu dla każdego wariantu obliczeniowego ($i = 1, 2, \dots, 27$) obliczono wartości średnie \bar{x}_i i odchylenia standardowe s_i obciążenia wyznaczonego według poszczególnych metod, a następnie obliczono względną wartość obciążenia ξ_i (dla każdej j -tej metody i każdego i -tego wariantu obliczeń) według wzoru

$$\xi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i} \quad (3)$$

gdzie:

ξ_{ij} — względna wartość obciążenia w i -tym wariancie obliczeń, wyznaczona według j -tej metody,

x_{ij} — wartość obciążenia w i -tym wariancie obliczeń, wyznaczona według j -tej metody,

\bar{x}_i — średnia wartość obciążenia w i -tym wariancie,

s_i — odchylenie standardowe obciążenia w i -tym wariancie.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 8 (na wklejce).

Jako podstawę klasyfikacji przyjęto średnią wartość ξ_{sr} względnych wartości obciążenia.

W wytypowanych przedziałach wartości znajdują się następujące metody:

- w przedziale wartości $\xi_{sr} < -1$ znajduje się metoda Terzagiego;
- w przedziale wartości $-1 \leq \xi_{sr} < -0,5$ znajdują się metody: Protodiakonowa (dla wyrobisk o przekroju prostokątnym), Cymbariewicza (dla wyrobisk z parabolicznym i z trójkątnym sklepieniem ciśnień), Gałczyńskiego;
- w przedziale wartości $-0,5 \leq \xi_{sr} < 0$ znajdują się metody: Sałustowicza, Kłęczka, GIG, Bieniawskiego (RMR);
- w przedziale wartości $0 \leq \xi_{sr} < 0,5$ znajduje się metoda zespołu pod przewodnictwem Drzęźli;
- w przedziale wartości $0,5 \leq \xi_{sr} < 1$ znajdują się metody: zespołu pod przewodnictwem Chudka, według normy PN-G-05600:1998 (dla p_{min});
- w przedziale wartości $1 \leq \xi_{sr}$ znajdują się metody: według normy PN-G-05020:1997 oraz według normy PN-G-05600:1998 (dla p_{max}).

Zestawienie to wskazuje, że najmniejsze wartości obciążeń obudowy uzyskuje się przy użyciu metody Terzagiego, jednak wartość $p = 0$ świadczy o tym, że metoda ta nie nadaje się do zastosowania w warunkach kopalnianych.

Maksymalne wartości obciążeń uzyskuje się przy zastosowaniu metod: według normy PN-G-05020:1997 oraz według normy PN-G-05600:1998 (dla p_{max}), a wartości zbliżone do średniej — przy zastosowaniu metod: Sałustowicza, Kłęczka, GIG, Bieniawskiego (RMR), zespołu pod przewodnictwem Drzęźli.

Ze względu na brak możliwości eksperymentalnej weryfikacji rezultatów przeprowadzona analiza, nie przesądza, która metoda daje wyniki najbliższe rzeczywistości.

5. Podsumowanie

Celem pracy było wyznaczenie obciążeń działających na obudowę wyrobisk korytarzowych niepoddanych działaniu wpływów eksploatacji górniczej. Posłużono się szeregiem metod, które są wynikiem wieloletnich prac badawczych i doświadczeń praktycznych. W rozdziale 2 pracy wymieniono stosowane obecnie w praktyce metody obliczania obciążeń działających na obudowę wyrobiska. Obliczenia porównawcze przeprowadzono dla 13 różnych metod obliczania obciążeń. Metody 12 i 13 (według norm) zostały zastosowane w dwóch wariantach: metoda 12a (według [8]) przy założeniu, że obciążenie strefy spękań jest wyrażone wzorem (37) normy, i wariant 12b, przy założeniu, że obciążenie w strefie spękań wyrażone jest wzorem (37) normy, w którym zamiast r_a uwzględniono r_L . W przypadku metody 13 (według [9]) — wariant a objął zasięg spękań powstałych w wyniku prowadzenia robót strzałowych równy 1 m; wariant b — zasięg spękań powstałych w wyniku prowadzenia robót strzałowych wynosił 2 m.

Obliczenia przeprowadzono dla warunków wymienionych w 2 części artykułu i dla 27 zestawów obliczeń.

Stwierdzono, że:

- 1) największe wartości obciążenia dają metody: według normy PN-G-05020:1997 oraz według normy PN-G-05600:1998 (dla p_{\max});
- 2) najmniejsze wartości obciążenia dają metody: Protodiakonowa (dla wyrobisk o przekroju prostokątnym), Cymbariewiczza (dla wyrobisk z parabolicznym i z trójkątnym sklepieniem ciśnień) i Gałczyńskiego.

Metoda Terzaghiego w warunkach górniczych nie nadaje się do obliczeń (wszystkie otrzymane wartości $p = 0$). Wyniki uzyskane przy użyciu tej metody mogą być miarodajne jedynie w przypadku obliczeń wykonywanych dla wyrobisk płytko zalegających.

Ogromna różnorodność metod obliczania obciążeń obudowy, a tym samym duże rozbieżności pomiędzy obliczonymi wartościami, wynikają z braku weryfikacji tych wyników obliczeń z wynikami pomiarów obciążeń *in situ*. Wynika stąd, że nie można opierać się wyłącznie na wynikach obliczeń: konieczne jest prowadzenie pomiarów w warunkach kopalnianych.

Pomiary w połączeniu z wynikami obliczeń uzyskanymi przy użyciu różnych metod mogą dać rozwiązanie najbliższe rzeczywistości.

LITERATURA

- [1] BN-78/0434-07 1978: Wyrobiska korytarzowe i komorowe w kopalniach. Obudowa powłokowa. Wytyczne projektowania i obliczeń statycznych

- [2] BN-79/0434-04 1979: Wyrobiska korytarzowe w kopalniach. Obudowa sklepiąna. Wytyczne projektowania i obliczeń statycznych
- [3] BN-82/043-07 1982: Wyrobiska korytarzowe i komorowe. Obudowa powłokowa. Wytyczne projektowania i obliczeń statycznych
- [4] *Chudek M., Duży S., Kleta H., Kleczek Z., Stoiński K., Zorycha A.*: Zasady doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni, Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, Gliwice – Kraków – Katowice 2000
- [5] *Drzęźła B., Mendera Z., Barchan A., Głqb L., Schinohl J.*: Obudowa górnicza. Zasady projektowania i doboru obudowy wyrobisk korytarzowych w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Politechnika Śląska Instytut Eksploatacji Złóż 2000
- [6] *Galczyński S.*: Podstawy budownictwa podziemnego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2001
- [7] *Kleczek Z.*: Geomechanika górnicza. Katowice, Śląskie Wydawnictwo Techniczne 1994
- [8] PN-G-05020 1997: Podziemne wyrobiska korytarzowe i komorowe. Obudowa sklepiąna. Zasady projektowania i obliczeń statycznych
- [9] PN-G-05600 1998: Podziemne wyrobiska korytarzowe i komorowe. Obudowa powłokowa. Zasady projektowania i obliczeń statycznych
- [10] PN-G-06010 1998: Wyrobiska korytarzowe poziome i pochyle w zakładach górniczych. Przekroje poprzeczne symetryczne
- [11] *Rulka K., Mateja J., Kowalski E., Skrzyński K., Stałega S., Wojtusiak A., Schinohl J.*: Uproszczone zasady doboru obudowy odrzwiowej wyrobisk korytarzowych w zakładach wydobywających węgiel kamienny. Katowice, Główny Instytut Górnictwa, Zakład Technologii Eksploatacji i Obudów Górniczych 2001
- [12] *Singh B., Goel R.K.*: Rock Mass Classification. A Practical Approach in Civil Engineering. Elsevier, Amsterdam – Lausanne – New York – Oxford – Shannon – Singapore – Tokyo 1999
- [13] *Wichur A., Gruszka R.*: Nowe normy projektowania obudowy długotrwałych podziemnych wyrobisk korytarzowych. Budownictwo podziemne 2000, AGH, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne 2000