

*Piotr Czaja\*, Joanna Hydzik\**

## KONCEPCJA NOWEJ OBUDOWY SZYBÓW GÓRNICZYCH GŁĘBIONYCH W SZTUCZNIE ZAMROŻONYM GÓROTWORZE\*\*

---

### 1. Wprowadzenie

Współczesne energooszczędne budownictwo lądowe obfituje w liczne zastosowania nowych materiałów i konstrukcji zapewniających znaczące zwiększenie oporu cieplnego zewnętrznych przegród budowlanych. Przykładowo, stosowanie pustaków ceramicznych „megaterm” o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  już przy grubości przegrody 388 mm zapewnia opór cieplny zbliżony do  $R = 2,0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ . Zastosowanie dodatkowej warstwy ocieplenia ze styropianu grubości 10 cm pozwala łatwo osiągnąć całkowity opór  $R = 4,0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ , co w naszej strefie klimatycznej jest uznawane za dobrze ocieploną ścianę zewnętrzną.

W budownictwie podziemnym problem przenikania ciepła przez przegrody nie był problemem, którym należałoby się zajmować w naukowy sposób. Budownictwo na terenach wiecznej zmarzliny, potem sztuczne mrożenie górotworu przy wykonywaniu obiektów podziemnych w skałach zawodnionych oraz bardzo wysoka temperatura skał na dużych głębokościach to warunki, w których ciepłochronne przegrody konstrukcyjne (obudowy) mają sens techniczny i ekonomiczny.

Jak do tej pory brak jest na ten temat badań prowadzonych na szerszą skalę. Jedyną napotkaną w literaturze technicznej próbą rozwiązania tego problemu była koncepcja opatentowana w Rosji dla głębin szybów w strefie wiecznej zmarzliny, gdzie dla maksymalnego ograniczenia przepływu ciepła między przestrzenią szybu a górotworem zaproponowano zastosowanie specjalnej konstrukcji tubingów betonowych stanowiących obudowę ostateczną. Tubingi te wyposażone są w przestrzenie i komory wypełnione materiałem termoizolacyjnym w postaci pianobetonu, gazobetonu lub innej warstwy piankowej o małym

---

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

\*\* Artykuł powstał w ramach projektu badawczego 4 T12 013 29

współczynnika przewodzenia ciepła. Rozwiązanie to ze względu na skomplikowany proces prefabrykacji tubingów wydaje się rozwiązaniem bardzo drogim i mało praktycznym.

Współczesna inżynieria materiałowa wprowadza do użytku wiele materiałów, które z uwagi na niespotykane dotychczas właściwości techniczne nazywane są materiałami nowej generacji.

W sferze materiałów konstrukcyjnych można do nich zaliczyć:

- Beton wysokowartościowy (BWW) — *High Strength Concrete (HSC* lub *High-Performance Concrete (HPC)* — klasy od B60 do B100;
- Beton bardzo wysokowartościowy (BBWW) — *Very High-Performance Concrete (VHPC)* — klasy od B100 do B150;
- Beton ultrawysokowartościowy (BUWW) — *Ultra High-Performance Concrete (UHPC)* — klasy powyżej B150;
- Betony samozagęszczalne SCC — *Self Compacting Concrete*;
- Betony lekkie (LWAC — *Light Weight Aggregate Concrete*), w tym również betony lekkie wysokowartościowe.

## 2. Betony nowej generacji w budownictwie górniczym

Znając podstawowe właściwości betonów nowej generacji, do których należą:

- wysoka wytrzymałość końcowa przy szybko narastającej wytrzymałości wczesnej,
- bardzo wysoka wodoszczelność w porównaniu z betonami zwykłymi stosowanymi dotychczas,
- możliwość uzyskiwania wysokiej wytrzymałości również dla betonów lekkich charakteryzujących się znacznie niższym współczynnikiem przewodzenia ciepła  $\lambda$ ,

można postawić pytanie: gdzie w budownictwie górniczym mogą mieć zastosowanie tworzywa tego rodzaju i czy w trudnych warunkach budownictwa podziemnego jest możliwe uzyskanie betonu o takich parametrach technicznych?

Odpowiedź pojawia się po przeprowadzeniu analizy skutków wprowadzenia w miejsce betonów tradycyjnych (o wytrzymałości do 40 MPa) betonów wysokiej wytrzymałości oraz analizy transferu ciepła w wybranych konstrukcjach podziemnych [4].

Obecnie istnieją przynajmniej dwa obszary zastosowań betonów wysokiej wytrzymałości:

- 1) w obudowach górniczych szybów, tuneli i komór w celu obniżenia ich całkowitej grubości przy zachowaniu wymaganej nośności;
- 2) w konstrukcjach obudów górniczych w celu obniżenia strumienia ciepła przepływającego przez obudowę (dotyczy betonów lekkich):
  - w szybach głębinowych w sztucznie zamrożonym górotworze lub w obszarach wiecznej zmarzliny,

- w obudowie wyrobisk korytarzowych na dużej głębokości w celu obniżenia ilości ciepła wypływającego z górotworu do powietrza kopalnianego płynącego w wyrobiskach.

W przypadku obudowy szybów zdominowanej obecnie przez beton zwykły normalnej wytrzymałości wprowadzenie betonu wysokowytrzymałego pozwoliłoby na znaczną zmianę filozofii projektowania i budowy szybów zarówno metodą zwykłą, jak i metodami specjalnymi. W szczególności zastosowanie tego tworzywa pozwoliłoby na:

- zmniejszenie grubości obudowy betonowej jednowarstwowej (w odcinkach głębokich metodą zwykłą);
- zastąpienie obudowy zespolonej panelowo-betonowej tą samą konstrukcją, ale o znacznie zmniejszonej sumarycznej grubości;
- zastosowanie obudowy panelowo-betonowej z warstwą izolacyjną do znacznie trudniejszych warunków (o większych obciążeniach od skał i od wody);
- zastąpienie obudowy zespolonej z warstwą izolacyjną obudową jednowarstwową z betonu wodoszczelnego;
- znaczące zmniejszenie całkowitej grubości obudowy betonowo-tubingowej;
- zastąpienie obudowy betonowo-tubingowej obudową panelowo-betonową z betonów wysokowartościowych i wodoszczelnych;
- poprawę jakości wszystkich typów obudowy monolitycznej poprzez stosowanie betonów samozagęszczalnych (SCC)<sup>1</sup>.

Przykładem potwierdzającym wprowadzenie tych rozwiązań było pogłębianie szybu Leon IV w KWK „Rydułtowy”, gdzie z dobrym skutkiem obudowę dwuwarstwową z folią izolacyjną w środku zastąpiono odpowiednio wytrzymałą i wodoszczelną obudową betonową jednowarstwową [3].

### **3. Koncepcja nowej obudowy szybu drążonego w sztucznie zamrożonym górotworze**

Przedstawione powyżej informacje dotyczące właściwości betonów nowej generacji oraz analiza nośności wykonanej z nich obudowy szybu wyraźnie wskazuje na istnienie możliwości znacznego obniżenia kosztów głębiania szybu w warunkach sztucznego zamrażania górotworu [1, 4]. Możliwości te wynikają z mniejszej objętości materiału obudowy, mniejszej objętości wyłomu oraz mniejszych strat ciepła w czasie mrożenia biernego. Zasadniczym problemem jest zagwarantowanie korzystnych warunków wiązania i dojrzewania betonu wysokowartościowego w obudowie ostatecznej oraz betonu osłonowego w warstwie kontaktowej.

---

<sup>1</sup> SCC — z angielskiego *self compacting concrete* ‘beton samozagęszczalny’.

Najistotniejsza część niniejszej pracy poświęcona jest zarysowi koncepcji nowej obudowy, opartej głównie na analizie wymiarowej obudowy według kryterium całkowitego oporu cieplnego.

Wykonanie obudowy ostatecznej z betonu w warunkach sztucznie mrożonego górotworu pociąga za sobą szereg problemów technicznych. Głównym z nich jest niska temperatura powietrza w przodku szybowym (niższa od zera) oraz przemrożona warstwa obudowy wstępnej. Warunki te są bardzo niekorzystne dla wiązania i twardnienia betonowej obudowy ostatecznej i proces ten znacznie się wydłuża, a w większości wypadków zostaje po pewnym czasie całkowicie zahamowany. Na opóźnienie tego zjawiska korzystnie mogło wpłynąć tylko przewymiarowanie grubości obudowy, pociągające za sobą zwiększanie masywności konstrukcji i w ostateczności zwiększenie ilości wydzielanego ciepła. Z praktycznych obserwacji wynika jednak, że w takich sytuacjach w obudowie betonowej układanej na obudowę wstępną murewymi temperatury na brzegach były ujemne, a w środku masy betonowej dochodziły do 70°C, a w przypadku obudowy grubości około 100 cm przekraczały nawet 80°C [7]. Według obecnej wiedzy i licznych prac Kiernożyckiego [5], Flagi [2] i Witakowskiego tak dojrzewająca konstrukcja grubościenna ulega zarysowaniu i znacznemu osłabieniu już w fazie jej wznoszenia. W związku z potrzebną wysoką nośnością obudowy ostatecznej i jej grubość musiała być znaczna, a ta po wykonaniu z betonu wysokowartościowego może być znacznie obniżona. Wprawdzie są znane liczne metody wykonywania konstrukcji betonowych w obniżonych (poniżej zera) temperaturach, ale rozwiązaniem najpewniejszym, gwarantującym osiągnięcie właściwej wytrzymałości BWW jest zapewnienie na czas tężenia i dojrzewania dodatnich temperatur, a to w szybie mrożonym było nie do osiągnięcia.

### **3.1. Systemy wykonania obudowy panelowo-betonowej szybu drążonego długimi odcinkami**

Jedną z metod wznoszenia obudowy szybu drążonego w zamrożonym górotworze jest zastosowanie obudowy panelowo-betonowej. Konstrukcję tę wznosi się w ten sposób, że po urobieniu kolejnego zabioru w przodku szybowym przystępuje się do wznoszenia obudowy wstępnej, zazwyczaj z prefabrykowanych segmentów betonowych, a następnie pomiędzy obudową wstępną a górotworem układa się warstwę kontaktową z betonu żwirowego niskiej klasy. Zadaniem warstwy kontaktowej jest zespolenie górotworu z obudową wstępną, przez co uzyskuje się optymalne warunki współpracy pomiędzy tymi elementami szybu. Po wykonaniu odcinka szybu w obudowie wstępnej o długości nie zagrażającej jego stateczności przystępuje się do wykonania obudowy ostatecznej z dołu do góry, najlepiej jednym odcinkiem z wykorzystaniem odeskowania przestawnego lub ślizgowego.

Aby tak skonstruowana obudowa cechowała się odpowiednią nośnością i jednocześnie odpowiednią wodoszczelnością, przed wykonaniem ostatecznej, odpowiednio grubej betonowej warstwy nośnej na ociosie obudowy wstępnej układa się odpowiednio zgrzaną folię izolacyjną grubości 2 mm stanowiącą szczelną przegrodę dla migrującej w betonie wody.

### 3.2. Koncepcja nowej obudowy

Idea nowej obudowy oparta jest o tę samą technologię, jaką przedstawiono powyżej, natomiast zmianie ulegają zastosowane materiały obudowy wstępnej oraz warstwy wypełniającej (kontaktowej), w taki sposób, aby te przy spełnionym warunku nośności stanowiły jednocześnie wystarczającą izolację termiczną dla wznoszenia obudowy ostatecznej z betonu wysokowartościowego w warunkach temperatur dodatnich.

Zaprojektowana odpowiednio warstwa izolacyjna powinna spełniać podwójną rolę:

- osłaniać warstwę betonu wysokowartościowego przed niskimi temperaturami płaszcza mroźniowego;
- osłaniać zamrożony górotwór przed dopływem ciepła z przodka szybowego, a w szczególności generowanego w procesie hydratacji cementu w betonie warstwy obudowy ostatecznej.

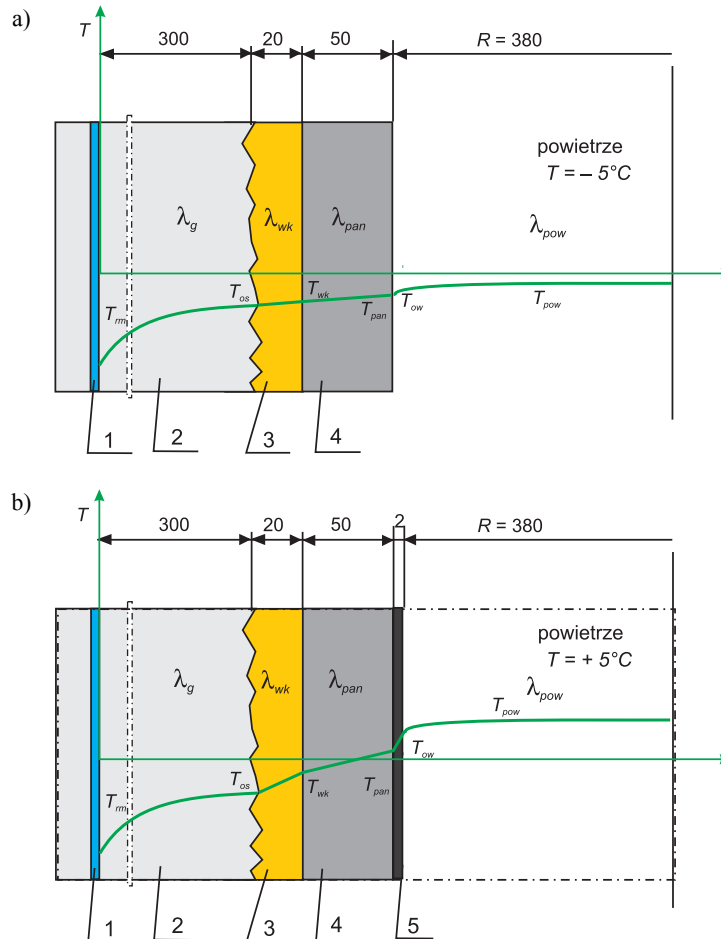
W konsekwencji zastosowania takiej obudowy należy się spodziewać również zmniejszenia strat ciepła w płaszczy mroźniowym, co pozwoliłoby na zmniejszenie intensywności mrożenia biernego. W tej sytuacji dla poprawienia komfortu pracy załóg szybowych możliwe jest nawet częściowe dogrzanie powietrza wentylacyjnego doprowadzanego do przodka lutniociągami.

Efekt zapobieżenia intensywnej wymianie ciepła oraz stworzenia dogodnych warunków dla dojrzewania warstwy obudowy ostatecznej można uzyskać za pomocą stosunkowo prostych zabiegów technologicznych, a mianowicie:

- zastąpieniu używanych dotychczas paneli z betonu zwykłego segmentami prefabrykowanymi z lekkiego betonu o wysokiej wytrzymałości i stosunkowo niskiej gęstości — maksymalnie do  $2000 \text{ kg/m}^3$  oraz o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda < 1,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  i klasie wytrzymałości LC 50/55 do LC 80/88;
- wykonaniu warstwy wypełniającej za obudową również z betonu na kruszywie lekkim o wysokiej izolacyjności, ze współczynnikiem przewodzenia ciepła z zakresu  $\lambda = 0,3 \div 0,6 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  i wytrzymałości na ściskanie  $f_c = 6 \div 15 \text{ MPa}$ .

Zabieg ten winien doprowadzić do zmniejszenia intensywności wymiany ciepła pomiędzy zamrożonym górotworem a wnętrzem szybu. Istotę zagadnienia przedstawiono na rysunku 1, gdzie rysunku 1a prezentuje stan obecny, natomiast rysunku 1b stan według nowej koncepcji.

Jeżeli kompozycja lekkiej i jednocześnie wysokowytrzymałej obudowy wstępnej i super lekkiej warstwy wypełniającej nie zagwarantuje wymaganego oporu cieplnego tej przegrody, to możliwe jest jego zwiększenie przez utworzenie na wewnętrznej powierzchni paneli dodatkowej cienkiej (maksimum do 5 cm) warstwy ocieplającej wykonanej z pianek polietylenowych lub poliuretanowych, które cechują się współczynnikiem przewodzenia ciepła rzędu  $\lambda = 0,03 \div 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Rozkład temperatur panujących w konstrukcji obudowy przedstawiono hipotetycznie na rysunku 1.



**Rys. 1.** Istota koncepcji obudowy szybu z betonów nowej generacji: a) obudowa wstępna stosowana dotychczas; b) obudowa według nowej koncepcji; 1 — rura mrożeniowa, 2 — zamrożony górtwór, 3 — warstwa kontaktowa z betonu lekkiego o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,3 \div 0,6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , 4 — panele z lekkiego betonu wysokowartościowego o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda < 1,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , 5 — wysoko ciepłochronna warstwa izolacyjna o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,03 \div 0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Warstwa pianki izolacyjnej ułożona może zostać już po zabudowaniu części obudowy wstępnej poprzez jej naklejenie w postaci mat samoprzylepnych. Dodatkowym atutem takiego rozwiązania jest to, że warstwa ta spełniałaby również funkcję przegrody przeciwwodnej, gdyż pianki te są prawie nienasiąkliwe ( $n_h < 2\%$ ) i posiadają praktycznie szczelną strukturę zwłaszcza w stanie sprasowania, co nastąpi w fazie układania świeżej mieszanki betonowej w warstwie obudowy ostatecznej. Maty izolacyjne wyeliminowałyby też mostki termiczne, które mogą występować na łączeniu segmentów obudowy wstępnej.

Praktyka prefabrykacji betonów może potwierdzić, że możliwe technologicznie jest również takie rozwiązanie, w którym piankowa warstwa izolacyjna będzie zespalana z panelem już podczas jego prefabrykacji. W tej sytuacji w trakcie wznoszenia obudowy wstępnej należałoby zadbać o odpowiednie uszczelnienie połączeń pomiędzy warstwą ocieplającą w poszczególnych panelach. Również rodzaj materiałów termoizolacyjnych nie musi być teraz zdefiniowany. Postęp w technologii materiałowej jest taki, że w procesie produkcyjnym można praktycznie spełnić wszystkie wymagania. W przypadku robót szybowych pojawi się problem dopuszczenia materiałów do stosowania pod ziemią, w którym wiodącym wymaganiem będzie cecha niepalności.

W takim rozwiązaniu konstrukcji obudowy szybowej największym problemem będzie wykonanie lekkiej, termoizolacyjnej warstwy spajającej obudowę segmentową z zamrożonym górotworem. Maksymalne naprężenie ścinające powstałe w warstwie kontaktowej obciążonej ciężarem własnym obudowy panelowej obliczono w tabeli 1.

TABELA 1

**Obliczenie maksymalnego naprężenia ścinającego w warstwie kontaktowej**

Parametr	Oznaczenie	Jednostka	Wartość
Promień szybu w świetle obudowy wstępnej	$R_{ow}$	m	3,80
Grubość panelu obudowy wstępnej	$d_{pan}$	m	0,52
Promień szybu w osi obudowy wstępnej	$R_{o-pan}$	m	4,06
Objętość jednostkowa obudowy panelowej	$V_{pan}$	m <sup>3</sup>	13,27
Ciężar objętościowy obudowy panelowej	$\gamma_{pan}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00
Ciężar całkowity obudowy panelowej	$Q_{pan}$	MN	0,265
Powierzchnia ścięcia w warstwie kontaktowej	$s_{tw}$	m <sup>2</sup>	27,14
Naprężenie ścinające od obudowy panelowej	$\sigma_{tR}$	MPa	0,01
Konieczna minimalna wytrzymałość na ścinanie betonu w warstwie kontaktowej	$f_{ct\ min}$	MPa	0,05
Konieczna minimalna wytrzymałość na ściskanie betonu w warstwie kontaktowej określona wzorem $f_{ck\ bezp} = 5 \cdot f_{ct\ -min}$	$f_{ck\ bezp}$	MPa	0,25
Konieczna minimalna klasa wytrzymałości betonu w warstwie kontaktowej	C8/10		

Jak widać z obliczeń zamieszczonych w tabeli 1, ważne jest, aby warstwa kontaktowa przed zamrożeniem osiągnęła wytrzymałość na ściskanie większą od 0,25 MPa. Przyjęcie zatem betonu o wytrzymałości końcowej rzędu 6÷10 MPa zwiększa współczynnik bezpie-

czeństwa kilkadziesiąt razy. Warunek osiągnięcia takiej wytrzymałości może być spełniony bardzo łatwo przez wykonanie warstwy kontaktowej z betonu ultralekkiego o klasie gęstości D-1200 na kruszywie typu pollytag lub keramzyt.

Jedynym problemem, jaki się pojawia w odniesieniu do wykonania warstwy kontaktowej, jest hydratacja cementu i uzyskanie wymaganej wytrzymałości w warunkach jej kontaktu z zamrożonym górotworem. Zagadnienie to było przedmiotem prac badawczych laboratoryjnych przeprowadzonych w Katedrze Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH w 2006 roku.

Jednym ze środków zapobiegających zamarznięciu wody zarobowej w mieszance betonowej przed uzyskaniem przez beton określonej minimalnej wytrzymałości jest właściwy dobór cementu. Najlepsze predyspozycje do takich zastosowań mają cementy wysokokaloryczne, czyli portlandzkie, wysokiej klasy, z grupy wysokiej wytrzymałości wczesnej, jak na przykład Cem I 42,5 R lub Cem I 52,5 R. Duża ilość ciepła wydzielanego w czasie pierwszych godzin hydratacji i jednocześnie wysoka wczesna wytrzymałość gwarantują spełnienie postawionego wyżej warunku nawet bez konieczności stosowania domieszek przyspieszających wiązanie lub obniżających temperaturę zamarzania wody zarobowej.

### 3.3. Weryfikacja teoretyczna

Przy tak skonstruowanej obudowie wstępnej wykonanej z betonów żwirowych obydwie warstwy betonu charakteryzują się bardzo wysokim współczynnikiem przewodzenia ciepła  $\lambda$  dochodzącym nawet do 2,0 W/(m·K), co dla przegrody grubości do 0,7 m daje współczynnik przenikania ciepła  $U = 2,8$  W/(m<sup>2</sup>·K), a sumaryczny opór cieplny takiej przegrody obliczony wg PN-EN ISO 6946 wynosił będzie zaledwie  $R = 0,35$  (m<sup>2</sup>·K)/W. Przegroda taka jest więc łatwą drogą ucieczki ciepła z górotworu, co prowadzi do konieczności utrzymywania w przodku szybowym temperatury nie wyższej niż -5,0°C. W przeciwnym razie może dojść do lokalnego rozmrożenia górotworu, a to grozi obniżeniem nośności płaszcza mrożeniowego i utratą stateczności ociosu szybowego lub wdarcia się wody do przodka szybowego.

Wykonanie obudowy wstępnej panelowej z betonu lekkiego wysokowytrzymałego klasy gęstości D 1800, o współczynniku przenikania ciepła na poziomie  $\lambda = 0,7$  W/(m·K) i warstwy kontaktowej z ultra lekkiego betonu klasy gęstości D 1200 o współczynniku przenikania ciepła na poziomie  $\lambda = 0,3$  W/(m·K) w sposób znaczący podnosi opór cieplny  $R$ . Dla obudowy panelowej grubości  $d_1 = 0,5$  m i warstwy kontaktowej grubości  $d_2 = 0,2$  m otrzymamy sumaryczny opór dany wzorem:

$$R = R_{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n R_{\lambda_i} + R_{\alpha_2} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Nie uwzględniając oporów wnikania ciepła do przegrody  $R_{\alpha_1}$  i  $R_{\alpha_2}$  dla samej przegrody ( $d_1 + d_2$ ), uzyskamy wzrost oporu cieplnego z  $R = 0,35$  (m<sup>2</sup>·K)/W do  $R = 1,38$  (m<sup>2</sup>·K)/W.



Badania laboratoryjne i symulacje numeryczne przeprowadzone na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii AGH dowodzą, że opór cieplny przegrody (obudowy wstępnej i warstwy kontaktowej) na poziomie  $R = 2,0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$  jest w zupełności wystarczający, aby w przodku mogła panować temperatura  $+ 5^\circ\text{C}$ , nie zagrażając w żaden sposób rozmrażaniem się płaszcza lodowego. Te brakujące w oporze cieplnym przegrody  $R = 0,62 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$  można łatwo uzyskać nakładając na wewnętrzną powierzchnię obudowy panelowej dodatkową warstwę izolacyjną przykładowo z niepalnej pianki o współczynniku przenikania ciepła  $\lambda = 0,03 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  i grubości zaledwie 2,0 cm, bowiem:

$$R_N = \sum_{i=1}^n R_{\lambda_i} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,5}{0,7} + \frac{0,2}{0,3} + \frac{0,02}{0,03} = 0,71 + 0,67 + 0,67 = 2,05.$$

Z rozważań tych wynika, że podnosząc w przodku szybowym temperaturę do  $+5,0^\circ\text{C}$ , poprawiamy znacznie komfort pracy załogi głębiącej szyb, zmniejszamy ubytki ciepła z płaszcza mroźniowego i stwarzamy warunki do zastosowania betonu wysokowartościowego na obudowę ostateczną szybu. Wprowadzając natomiast beton wysokowytrzymały w warstwie obudowy ostatecznej zmniejszamy jej sumaryczną grubość, zmniejszając tym samym problemy cieplne w pierścieniu obudowy, wyłom przodka, a to prowadzi do olbrzymich oszczędności w kosztach głębienia szybu sięgających kilkunastu procent [4].

#### 4. Podsumowanie

Wprowadzanie istotnych zmian w podejściu do realizacji wielkich budowli, a taką bez wątpienia jest szyb górniczy, obarczone jest dużym ryzykiem i obawą przed „nowym”. Szczególnie w środowisku, gdzie rozwiązania techniczne zweryfikowane długą historią zapewniały określony stopień bezpieczeństwa, mogą pojawić się pytania, czym grozi realizacja nowej koncepcji. Tu odpowiedź jest prosta. Ryzyko nieprzewidzianych skutków jest minimalne. Wszystkie proponowane materiały są sprawdzone w skali technicznej i stosowane są w o wiele bardziej wymagających warunkach, jakie stwarza budownictwo wysokie czy mostowe. Nie ulegnie też zmianie sama technologia głębienia szybu, co mogłoby budzić obawy wykonawców.

W przeciwieństwie do obaw wiele czynników wskazuje na liczne pozytywy rozwiązania. Najistotniejsze to zmniejszenie kosztów budowy szybu i poprawa komfortu pracy w przodku szybowym, a po stopniowym wdrożeniu i zweryfikowaniu proponowanych rozwiązań niewątpliwie w budownictwie podziemnym pojawią się nowe obszary zastosowań betonów wysokowartościowych.

#### LITERATURA

- [1] Czaja P.: High Strength Concrete in Underground Construction. The Conference Proceedings Geotechnika — Geotechnics 2002. Slovak Republic 2002

- [2] *Flaga K.*: Energetyczne podstawy wzrostu wytrzymałości betonu tężejącego w warunkach obróbki termicznej. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, 3, 1971
- [3] *Hydzik J., Czaja P.*: Beton wysokowartościowy a niskie temperatury betonowania. Górnictwo i Geoinżynieria. Kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej, 3–4, 2003
- [4] *Hydzik J.*: Zastosowanie betonu wysokowartościowego w obudowach wyrobisk podziemnych drażonych w sztucznie zamrożonym górotworze. Praca doktorska, Kraków, AGH 2007 (praca niepublikowana)
- [5] *Kiernożycki W.*: Betonowe konstrukcje masywne. Teoria — wymiarowanie — realizacja. Kraków, Polski Cement 2003
- [6] *Kostrz J. i in.*: Zastosowanie betonów odpornych na silną agresję siarczanową i magnezową w budownictwie podziemnym. Budownictwo Górnicze i Tunelowe, 3, 2000
- [7] *Rulka K., Godziek J.*: Problemy obudowy betonowej w szybach mroźniowych. Rudy i Metale Nieżelazne, 4, 14, 1969
- [8] *Witkowski P.*: Termodynamiczna teoria dojrzewania. Zastosowanie do konstrukcji masywnych z betonu. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, 1, Inżynieria Lądowa, 70, 1998