

Mieczysław LEŚKO

Włodzimierz MAJCHERCZYK

## 1. CECHY BETONU PRASOWANEGO I KONSTRUKCJA NAWIERZCHNI Z PŁYT PRASOWANYCH

Streszczenie. W pracy omówiono cechy betonu prasowanego pod kątem przydatności do produkcji płyt drogowych wielko-wmiarowych i elementów galanterii drogowej w technologii PRAS-BET.

### 1. UWAGI WSTĘPNE

Zjawiskiem występującym w ostatnich latach jest stały wzrost ilości pojazdów w naszym kraju i to zarówno osobowych, jak i ciężarowych. Powoduje to zwiększenie obciążenia ruchem dróg i ulic. Nowoczesne nawierzchnie drogowe muszą, prócz wysokiej wytrzymałości, charakteryzować się również odpornością na działanie wpływów klimatycznych i środków chemicznego utrzymania dróg. Poszukuje się więc takich materiałów i technologii, które przy porównywalnych z tradycyjnymi nakładach finansowych na budowę drogi pozwoliłyby przedłużyć jej trwałość i poprawić komfort użytkowania.

Zaproponowane rozwiązanie polega na zastosowaniu w warstwach konstrukcyjnych - jezdnych nawierzchni drogowych płyt z betonu prasowanego, a także elementów galanterii drogowej wykonanych w technologii PRAS-BET.

Metoda PRAS-BET jest bezwibracyjną metodą formowania elementów betonowych. Została opracowana w Instytucie Technologii i Organizacji Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach [5:8]. Metoda ta polega na prasowaniu gorącej masy betonowej z jednoczesnym próżniowaniem. W procesie technologicznym produkcji elementów betonowych łączy się następujące zabiegi technologiczne:

- stosowanie w składzie mieszanki betonowej mikrowypełniacza w postaci popiołów lotnych,
- dwuetapowy cykl przygotowania masy betonowej, polegający na:
  - 1) mieszaniu grubych ziarn kruszywa z mikrowypełniaczem oraz częścią wody zarobowej,
  - 2) dodaniu do mieszanki, w trakcie mieszania, cementu i pozostałej ilości wody zarobowej,
- stosowanie gorącej wody zarobowej i podgrzewanie składników masy betonowej w czasie jej mieszania,
- prasowanie elementów pod prasą hydrauliczną z jednoczesnym próżniowaniem.

Prace badawcze [5+8] nad technologią PRAS-BET wykazały, że jej stosowanie daje określone korzyści, a mianowicie:

- 1<sup>o</sup> poprzez stosowanie prasowania elementu betonowego jest możliwe natychmiastowe rozformowanie oraz przemieszczenie go za pomocą zawiesia próżniowego, a także zwiększenie wytrzymałości natychmiastowej o około 50%. Prasowanie masy betonowej o temperaturze 70°C przy równoczesnym próżniowaniu pozwala na zwiększenie średniej wytrzymałości natychmiastowej betonu do około 0,7 MPa,
- 2<sup>o</sup> elementy wykonane w technologii PRAS-BET mogą być po upływie 24 godzin od momentu rozformowania transportowane na plac składowy lub wbudowane w dany obiekt,
- 3<sup>o</sup> beton prasowany charakteryzuje się wytrzymałością na ściskanie większą o około 30% od betonu wibrowanego o analogicznym składzie mieszanki,
- 4<sup>o</sup> stosowanie obróbki termicznej w technologii PRAS-BET nie obniża 28-dniowej miarodajnej wytrzymałości betonu prasowanego.

Przez stosowanie technologii PRAS-BET w budownictwie uzyskano, potwierdzone przez prace badawcze [2, 5, 6], wymierne efekty, a mianowicie:

- oszczędność zużycia cementu w granicach 20%,
- możliwość uzyskania betonów wysokich klas z kruszyw niższych jakości przy zachowaniu wysokiej jakości formowanych prefabrykatów,
- eliminację zabiegów technologicznych wibrowania masy betonowej i kosztownej obróbki termicznej elementów oraz wydatne skrócenie czasu trwania procesu wiązania betonu,
- poważne zmniejszenie nakładów inwestycyjnych na budowę podstawowego oddziału formowania poprzez całkowitą mechanizację procesu produkcji prefabrykatów, obniżenie kosztów własnych produkcji i zmniejszenie powierzchni produkcyjnej,
- najkrótszy, z dotychczas uzyskiwanych, cykl produkcji prefabrykatów betonowych.

## 2. BADANIA LABORATORYJNE BETONU PRASOWANEGO

### 2.1. Zakres badań

Celem badań laboratoryjnych było określenie tych cech, które stanowią o przydatności betonu prasowanego do produkcji wielkowymiarowych płyt drogowych oraz elementów galanterii drogowej.

Badania wykonano na próbkach jednowarstwowych i dwuwarstwowych z betonu klasy B25 i B35 o wytrzymałości  $R_G^b = 25$  i  $R_G^b = 35$  MPa, przy czym do betonu jako kruszywo zastosowano łupek samoczynnie przepalony ze zwałów i bazalt, zaś jako wypełniacz użyto popioły elektrowniane (lotne).

## 2.2. Stosowanie materiałów odpadowych do nawierzchni w technologii PRAS-BET

Zasoby materiałów kamiennych stosowanych do betonów, mas mineralno-bitumicznych czy podbudów są w naszym kraju na wyczerpaniu. Jednocześnie coraz ostrzej rysuje się problem utylizacji odpadów przemysłowych, których zasoby w postaci hałd ulegają stałemu powiększaniu. Oprócz skażenia środowiska naturalnego zabierają one też cenne pod względem urbanistycznym lub rolniczym tereny. Z wykonanej analizy [2] wynika, że zasoby łupka przywęglowego przepalonego szacuje się obecnie na 36 mln m<sup>3</sup>. Są to 33 duże hałdy znajdujące się w pobliżu kopalń GOP-u. Zasoby popiołów lotnych szacuje się na 19 mln Mg, co przy obecnym poziomie utylizacji daje ponad 2500 ha terenów wyłączonych ich składowaniem, przy czym ilości podane ulegają ciągłej zmianie.

### 2.2.1. Wykorzystanie łupka samoczynnie przepalonego

Na cele drogownictwa może być przeznaczony jedynie łupek samoczynnie przepalony (czerwony). Każdorazowe korzystanie z nowych złóż łupków musi być poprzedzone badaniami cech indywidualnych. W przypadku określenia przydatności łupka na warstwy nośne nawierzchni drogowych określa się: skład granulometryczny, gęstość, zawartość części palnych, wilgotność naturalną, optymalną i maksymalną, gęstość pozorną, opór na ścinanie, ścisłość oraz nasiąkliwość i mrozoodporność.

Poddany badaniom [2] materiał z hałd: "Rymer", "Halemba" i "Rydułtowy" wykazał wiele cech, które upodabniają go do pospółek lub niesortu. Nie jest to jednak materiał odporny na wpływ wody i mrozu, łupki zawierają też wiele zanieczyszczeń w postaci łupka czarnego i żuźla.

Stosowanie łupka przepalonego należy ograniczyć do dolnych warstw podbudowy dróg wysokich klas technicznych i górnych oraz dolnych warstw podbudowy dróg pozostałych klas.

Najlepsze efekty utylizacji łupka czerwonego uzyskano w technologii PRAS-BET. Zamknięcie tego materiału w betonie prasowanym i praktycznie odcięcie od wpływu wody powoduje, że mimo niskiej jakości kruszywa i minimalnego zużycia cementu otrzymano wysokie klasy betonu.

Podkreślić należy, iż koszt przekruszenia i rozfrakcjonowania łupków jest niewielki w stosunku do ceny materiałów klasycznych.

### 2.2.2. Wykorzystanie popiołów lotnych

Wykorzystanie popiołów lotnych musi być każdorazowo poprzedzone badaniem cech indywidualnych złoża. Najważniejsze z nich odnoszą się do:

- procentowych strat prażenia,
- zawartości SiO<sub>2</sub>,
- zawartości MgO, Na<sub>2</sub>O,
- zawartości SO<sub>3</sub>.

- powierzchni właściwej w  $m^2/kg$ ,
- zawartości frakcji 0,075 mm.

Celowość stosowania popiołów lotnych, jako dodatku do betonu prasowanego, potwierdziły badania laboratoryjne [2]. Dzięki domieszkom popiołów uzyskano:

- oszczędność w zużyciu cementu,
- polepszenie cech technicznych i technologicznych betonu prasowanego,
- obniżenie ciepła hydratacji i zmniejszenie skurczu betonu,
- polepszenie urabialności masy betonowej,
- zwiększenie odporności betonu na agresję środków chemicznego utrzymania dróg,
- podniesienie końcowej wytrzymałości betonu i zwiększenie jego odporności na działanie mrozu.

Stosując popiół lotny uzyskano wysokie klasy betonu prasowanego pomimo zmniejszenia ilości zużytego do betonu cementu.

### 2.3. Badania betonów

Skład masy betonowej zaprojektowano metodą prób laboratoryjnych, przy założeniu w każdej mieszance stałej konsystencji. Ilość składników do próbnego zarobu ustalono z przekształconych wzorów zgodnie z metodą trzech równań [2].

Do wykonania masy betonowej użyto grysów bazaltowych oraz łupka samoczynnie przepalonego ze zwalów, cementu portlandzkiego 350, popiołu lotnego i wody. Optymalny skład masy betonowej ustalony w trakcie badań zestawiono w tabelicy 1.

Tablica 1

Optymalny skład mieszanki betonowej

Lp.	Beton klasy B25		Beton klasy B35	
1	Cement portlandzki 350 w kg	375	Cement portlandzki 350 w kg	350
2	Popiół elektrowniany w kg	150	Popiół elektrowniany w kg	150
3	Łupek przywęglony w kg	1400	Bazalt w kg	1700
4	Woda technologiczna w l	350	Woda technologiczna w l	290
5	Woda odprowadzona w l	60	Woda odprowadzona w l	60
6	Gęstość w $kg/m^3$	2160	Gęstość w $kg/m^3$	2400

Na przygotowanych próbkach jedno- i dwuwarstwowych z betonu prasowanego wykonano następujące badania:

- badanie klasy betonu prasowanego, które wykonano na próbkach 28-dniowych,
- badanie nasiąkliwości; określono nasiąkliwość ciężarową  $n_w$  w procentach masy próbki, z dokładnością 0,1%,
- mrozoodporność betonu prasowanego; określono procentowy ubytek masy oraz zmniejszenie wytrzymałości próbek  $R$  na ściskanie po 25 cyklach,
- odporności betonu prasowanego na wpływ środków chemicznych zimowego utrzymania dróg, takich jak sole  $\text{NaCl}$  i  $\text{MgCl}_2$ .

Jednocześnie wykonano badania na próbkach porównawczych z identycznych mieszanek zarobowych, lecz w technologii betonu wibrowanego.

#### 2.4. Opracowanie statystyczne wyników badań laboratoryjnych betonu prasowanego

Analizę statystyczną wyników badań laboratoryjnych objęto określenie takich charakterystyk szeregu rozdzielczego, jak:

- obliczenie wartości średniej  $\bar{y}$  z zależności:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (1)$$

- obliczenie wariancji  $s^2$  z zależności:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (2)$$

- obliczenie odchylenia standardowego  $s$  z zależności:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (3)$$

- obliczenie współczynnika zmienności  $W$  z zależności:

$$W = \frac{s}{\bar{y}} 100\%, \quad (4)$$

- obliczenie współczynnika jednorodności  $K$  z zależności:

$$K = \frac{R_{\min}}{\bar{y}}, \quad (5)$$

gdzie:

$y_1$  - wartości liczbowe badanej cechy,

$n$  - liczebność próby,

$R_{\min}$  - dolna granica przedziału zmienności badanej cechy w próbie.

Oceny parametrów w populacji dokonano na podstawie charakterystyk obliczonych z próby, a mianowicie:

$\bar{u}$  - wartości średniej,

$s^2$  - wartości wariancji,

$s$  - wartości odchylenia standardowego.

Wyniki dokonanych obliczeń zestawiono w tablicach 2, 3 i 4.

Tablica 2

Wartości obliczonych charakterystyk i parametrów dla badań wykonanych na próbkach z betonu prasowanego

Lp.	Miernik	Wartości obliczonych charakterystyk i parametrów dla badań wykonanych na próbkach z betonu				
		Klasy B25		Klasy B35		Dwuwarstwowego
		Klasa betonu	Nasiąkliwość	Klasa betonu	Nasiąkliwość	Nasiąkliwość
1	$\bar{y}$	25,210	6,340	35,420	3,470	4,580
2	$s^2$	3,389	0,373	9,430	0,054	0,587
3	$s$	1,841	0,611	3,071	0,233	0,766
4	$W \%$	8,000	10,500	9,400	4,240	13,980
5	$\delta^2$	4,067	0,447	11,316	0,065	0,074
6	$\delta$	2,016	0,668	3,364	0,254	0,839
7	$\delta \bar{y}^2$	0,768	0,074	1,886	0,011	0,117
8	$\delta \bar{y}$	0,823	0,272	1,373	0,104	0,342
9	$L_{0,95}$	1,766	0,583	2,946	0,223	0,735
10	$K_{0,95}$	0,843	0,794	0,816	0,917	0,726
11	$R_{0,95}$	7,903	2,618	13,186	0,998	3,288

Z analizy wartości liczbowych zestawionych w tablicach 2, 3, 4 wynika, że:

- badany materiał - beton prasowany - okazał się jednorodny. Świadczy o tym wartość współczynnika zmienności badanych cech  $W \ll 20\%$ . Również wartości współczynnika  $K_{0,95}$  potwierdzają jednorodność badanego materiału,
- przy zastosowaniu metody PRAS-BET uzyskano klasy betonu wyższe średnio o ok. 80% niż przy zastosowaniu metody tradycyjnej betonu wibrowanego (tablica 2). Jednocześnie uległo zmniejszeniu zużycie cementu w granic

Tablica 3

Wartości obliczonych charakterystyk i parametrów  
dla badań wykonanych na próbkach z betonu prasowanego i wibrowanego

Lp.	Miernik	Wartości obliczonych charakterystyk i parametrów dla badań wykonanych na próbkach betonowych	
		prasowanych	wibrowanych
1	$\bar{y}$	25,700	14,900
2	$s^2$	2,060	2,300
3	$s$	1,435	1,516
4	$W \%$	6,100	11,100
5	$\hat{\sigma}^2$	2,472	2,761
6	$\hat{\sigma}$	1,572	1,661
7	$\bar{\sigma} \bar{y}^2$	0,412	0,460
8	$\bar{\sigma} \bar{y}$	0,642	0,678
9	$L_{0,95}$	1,377	1,454
10	$K_{0,95}$	0,766	0,781
11	$R_{0,95}^0$	6,162	6,511

Tablica 4

Wartości obliczonych charakterystyk i parametrów  
dla badań odporności betonu prasowanego  
na wpływ środków chemicznych zimowego utrzymania dróg

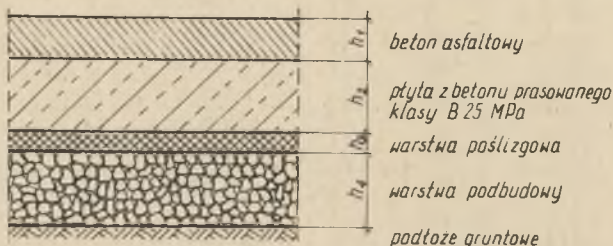
Lp.	Miernik	Wartości obliczonych charakterystyk i parametrów dla badań wykonanych na próbkach z betonu prasowanego		
		w środowisku wodnym	w wodnym roztworze NaCl	w wodnym roztworze MgCl <sub>2</sub>
1	$\bar{y}$	22,770	21,450	22,070
2	$s^2$	2,116	3,247	1,741
3	$s$	1,455	1,802	1,319
4	$W \%$	6,667	8,770	6,240
5	$\hat{\sigma}^2$	2,308	3,542	1,899
6	$\hat{\sigma}$	1,519	1,882	1,378
7	$\bar{\sigma} \bar{y}^2$	0,192	0,295	0,158
8	$\bar{\sigma} \bar{y}$	0,438	0,543	0,398
9	$L_{0,95}$	0,941	1,165	0,853
10	$K_{0,95}$	0,869	0,828	0,877
11	$R_{0,95}^0$	5,954	7,377	5,402

- cach około 20÷30%, a także wydatne skrócenie czasu trwania procesów wiązania oraz wzrostu wytrzymałości betonu,
- w trakcie badań uzyskano, używając jako kruszywa łupka samoczynnie przepalanego, klasę betonu B25 przy ilości cementu portlandzkiego 350 wynoszącej 375 kg na 1 m<sup>3</sup> masy betonowej oraz stosując kruszywo bazaltowe betonu klasy B35. Dobre wyniki dały również badania na próbkach dwuwarstwowych, przy czym warstwę dolną wykonano z betonu B25, a górną - ścierną z betonu klasy B35 (tablica 3),
  - beton prasowany zarówno na kruszywie bazaltowym, jak i łupku samoczynnie przepalonym wykazuje minimalną nasiąkliwość oraz mrozoodporność całkowitą. O szczególnej przydatności technologii PRAS-BET w budownictwie drogowym świadczy minimalny wpływ (około 5%) na klasę betonu środków chemicznych zimowego utrzymania dróg (tablica 4),
  - wyniki eksploatacji odcinka doświadczalnego, wykonanego z płyt małowymiarowych na ul. Rybnickiej w Gliwicach [9] również potwierdzają tezę o szczególnej przydatności betonu prasowanego do celów drogownictwa. Pomimo olbrzymiego natężenia ruchu drogowego i braku konserwacji płyty nie wykazują uszkodzeń, a jezdnia na odcinku nie ulega deformacji w profilu podłużnym i przekroju poprzecznym.

### 3. KONSTRUKCJA NAWIERZCHNI DROGOWYCH Z PRASOWANYCH PŁYT BETONOWYCH

Wymiarowanie grubości konstrukcji nawierzchni drogowych z zastosowaniem płyt z betonu prasowanego nie różni się od wymiarowania nawierzchni z betonu cementowego w technologii tradycyjnej ("na mokro").

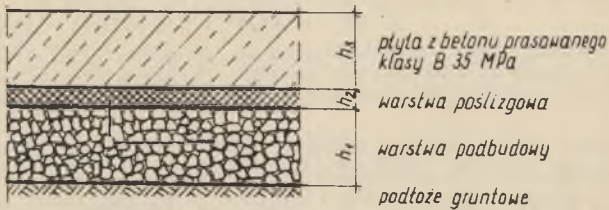
Płyty wielkowymiarowe typu PRAS-BET mogą być użyte zarówno na warstwy nośne, jak i na warstwy ściernalne nawierzchni drogowych (rys. 1 i 2) z wykorzystaniem płyt z betonu klasy B25 i B35 MPa.



Rys. 1. Układ warstw nawierzchni przy zastosowaniu w podbudowie płyt z betonu prasowanego

Integralną część wymiarowania grubości płyt stanowiło określenie zbrojenia płyt [2]. Decydującym parametrem okazało się wymiarowanie z warunków konstrukcyjnych na minimalny procent zbrojenia.





Rys. 2. Układ warstw nawierzchni przy zastosowaniu na warstwę jezdni płyt z betonu prasowanego

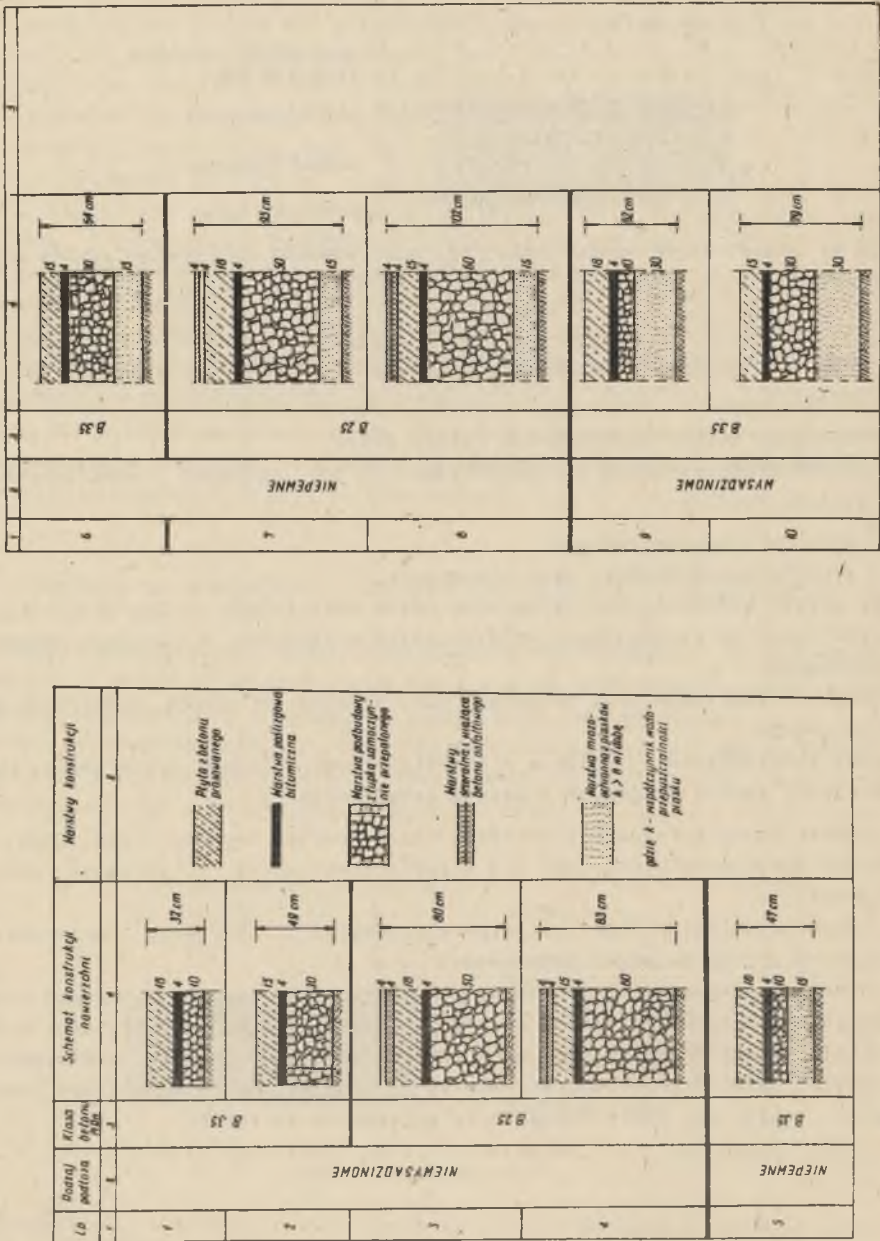
Jako dane wyjściowe do obliczenia grubości konstrukcji jezdni drogowej przyjęto:

- obciążenie ruchem samochodowym bardzo ciężkim,
- warunki gruntowo-wodne dla zróżnicowanych pod względem wysadzinowości rodzajów podłoża:
  - gruntów niewysadzinowych,
  - gruntów wysadzinowych oraz niepewnych,
- materiały konstrukcyjne na warstwy nośne nawierzchni według obowiązujących norm, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów odpadowych przemysłowych,
- schematy statyczne płyt drogowych jako zginane w dwóch prostopadłych kierunkach,
- oraz inne założenia, zgodnie z obowiązującymi metodami wymiarowania konstrukcji jezdni drogowych z betonu cementowego.

Nawierzchnie wymiarowano metodami Westergaarda, Iwanowa oraz OSZD, a ponadto sprawdzono nomogramem [4] ugięcia konstrukcji od obciążeń dynamicznych.

Wynikiem obliczeń jest zestawienie schematów konstrukcji nawierzchni drogowych z płyt z betonu prasowanego (rys. 3).

Przez stosowanie w warstwach konstrukcyjnych nawierzchni drogowych płyt z betonu prasowanego uzyskuje się zmniejszenie całkowitej grubości konstrukcji jezdni drogowej przy zachowaniu wysokich parametrów wytrzymałościowych, nawet w przypadku stosowania na warstwy nośne materiałów odpadowych, takich jak łupki samoczynnie przepalone ze zwalów.



Rys. 3. Schematy konstrukcyjne nawierzchni drogowych z płyt z betonu prasowanego

## LITERATURA

- [1] Elementy żelbetowe, wielkowymiarowe prasowane. W(70) PRAS-BET. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1977.
- [2] Lewinowski Cz., Leśko M., Majcherczyk W.: Opracowanie konstrukcji, technologii i organizacji budowy nawierzchni drogowych z prasowanych płyt betonowych. Praca naukowo-badawcza NB-35/RB-3/78, niepublikowana. Gliwice 1981.
- [3] Lewinowski Cz.: Matematyczna analiza wyników badań przeprowadzonych w laboratoriach drogowych. Prace CÖB i RTD, WKK, Warszawa 1970.
- [4] Leśko M., Majcherczyk W.: Ugięcia konstrukcji trójwarstwowych nawierzchni drogowych od obciążeń dynamicznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo Z. 50, Gliwice 1980.
- [5] Mikoś J.: Technologia PRAS-BET. Seria - Informacje dotyczące nowych technologii. Wydawnictwo CEBET. Zjednoczenia Przemysłu Betonów, Warszawa 1973.
- [6] Mikoś J.: Zastosowanie kruszywa drobnodziarnistego w elementach wykonanych wg technologii PRAS-BET. Materiały VII Konferencji Naukowo-Technicznej Przemysłu Betonów "Kruszywo-Beton" Jadwisin, 1-2 XII 1976
- [7] Mikoś J., Zarębski W., Kajrunajtys J.: Technologia łączenia elementów wielkopłytowych metodą złączy kłamrowych. Materiały z XXI Konferencji KILiW PAN i KN/PZITB, Krynica 1977.
- [8] Mikoś J., Zarębski W., Kajrunajtys J.: Jezdnia drogi z prefabrykowanych elementów. Patent Nr 91782 wydany 11.01.1978.
- [9] Miciński M., Skoplak G.: Zastosowanie płyt z betonu prasowanego do budowy nawierzchni drogowych (komunikat). Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo z. 35. Gliwice 1975.

СВОЙСТВА ПРЕССОВАННОГО БЕТОНА И КОНСТРУКЦИЯ ПОКРЫТИЯ  
ИЗ ПРЕССОВАННЫХ ПЛИТ

## Р е з ю м е

В работе проанализированы свойства прессованного бетона с точки зрения его пригодности для производства крупноразмерных плит для дорожных покрытий и элементов дорожного оборудования при применении технологии PRAS-BET.

CHARACTERISTICS OF COMPRESS CONCRETE AND THE CONSTRUCTION  
OF A PAVEMENT FROM COMPRESS CONCRETE SLABS

## S u m m a r y

Characteristics of compress concrete from the point of view of its usability for manufacturing of big size pavement slab and undersized road elements PRAS-BET technology are discussed.