ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1977

Seria: GÓRNICTWO z. 85 Nr kol. 555

Stefan LUBAŃSKI

PNEUMATYCZNY TRANSPORT MASY BETONOWEJ W BUDOWNICTWIE GÓRNICZYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań transportu masy betonowej w budownictwie górniczym, technologię wykonania masy betonowej i urządzenia do transportu.

1. Wstęp

Wyposażenie kopalń w sieci sprężonego powietrza stworzyło dogodne warunki dla pneumatycznego transportowania materiałów ziarnistych, w tym również mas betonowych stosowanych do wykonywania podziemnych konstrukcji betonowych, względnie izolowania pokładów węglowych.

Transport pneumatyczny mas betonowych w budownictwie podziemnym wykonuje się dwoma metodami: metodą "suchą" i metodą "mokrą".

Przy pierwszej metodzie transportowana jest pneumatycznie sucha mieszanka betonowa (kruszywo + cement), a woda zarobowa doprowadzona jest do komory mieszalnikowej znajdującej się na końcu rurociągu tłocznego.

Aktualnie w krajowym budownictwie podziemnym wprowadzana jest metoda "mokra", polegająca na dozowaniu i wymieszaniu składników masy betonowej (kruszywo + cement + woda zarobowa) przed rozpoczęciem transportu (w zbiorniku podajnika pneumatycznego). Przy tej metodzie istnieje możliwość utrzymywania założonego współczynnika wodno-cementowego W/C i ustalonej konsystencji masy betonowej przez cały cykl transportu. Wprowadzenie tej metody eliminuje szkodliwe zapylenie miejsca pracy, a stosowanie niskich współczynników W/C w granicach 0,4-0,5 (konsystencje gęstoplastyczne) pozwoliło na wykonywanie betonu natryskowego o wysokich parametrach wytrzymałościowych rzędu 30-40 MN/m^2 przy umiarkowanym zużyciu cementu i niskim odpadzie.

W dotychczasowej praktyce budownictwa podziemnego w większości realizuje się pneumatyczny transport w płaszczyznach poziomych na odległości do 100 m [7]. Ze względu na istniejące potrzeby liczyć się jednak należy z zastosowaniem transportu pneumatycznego mas betonowych w układach pionowych.

Pneumatyczny transport poziomy mokrych mas betonowych stosowany w budownictwie podziemnym można podzielić na:

- transport bez natrysku (wykonywanie konstrukcji monolitycznych),
- transport z natryskiem (wykonywanie betonu natryskowego w obudowach powłokowych oraz betonu izolacyjnego).

2. Pneumatyczny transport poziomy mokrych mas betonowych bez natrysku

Ze względu na sposób oddziaływania sprężonego powietrza na masę betonową znajdującą się w rurociągu tłocznym rozróżnia się [9]:

- transport unoszony,
- transport pchany (ślizgowy),
- transport pchany poduszkowy (poszczególne porcje transportowanego materiału przedzielone są "poduszkami" sprężonego powietrza).

W budownictwie podziemnym dla przemieszczania mokrych mas betonowych o konsystencjach gęstoplastycznych modeluje się transport jako pchany poduszkowy, charakteryzujący się dużą niezawodnością oraz stosunkowo niskim zużyciem sprężonego powietrza [4]. W rzeczywistości tylko w początkowym odcinku rurociągu mamy przepływ zbliżony do pchanego poduszkowego, w dalszej części rurociągu mamy już do czynienia równocześnie z transportem ślizgowym większych frakcji po dnie rury oraz transportem unoszonym drobniejszych frakcji.

Następuje tu więc zjawisko rozwarstwienia [3], które jest tym większe, im większa jest średnica i długość rurociągu [2] oraz mniejsza konsystencja transportowanej masy.

W budownictwie podziemnym transportujemy pneumatycznie gęstoplastyczne masy betonowe na odległości do 100 m (przy średnicy rurociągu Ø 100), dlatego w tym przypadku rozwarstwienie nie jest znaczne, a odbijanie się od podłoża (szalunku) wypływających z rurociągu składników powoduje wtórne ich wmieszanie, co w efekcie nie zmienia praktycznie wytrzymałości ułożonego betonu w stosunku do próbki betonu pobranej przed transportem z mieszalnika podajnika pneumatycznego.

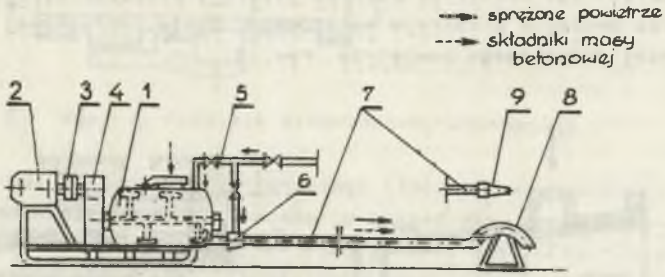
W przypadku transportowania jednak mas betonowych za odeskowanie o konsystencjach płynnych wystąpi także rozwarstwienie na wysokości betonowanego odcinka; w dolnych partiach wystąpią frakcje grube, w górnych zaś frakcje drobniejsze. W wyniku tego uzyskuje się niejednorodny rozkład wytrzymałości konstrukcji betonowej [5].

Transport pchany poduszkowy przy średnicach rurociągu większych od 50 mm charakteryzuje się stosunkowo dużą pulsacją wypływu, co jednak przy transportowaniu mokrych mas betonowych bez wykonywania natrysku nie ma istotnego znaczenia, biorąc pod uwagę efekt betonowania.

W budownictwie podziemnym do poziomego transportu pneumatycznego mokrych mas betonowych za odeskowanie stosuje się przeważnie rurociągi tłoczne gumowe lub stalowe o średnicy wewnętrznej 100 mm. Poszczególne odcinki

rurociągu łączone są za pomocą obwodowych złącz szybkomocujących (rurociągi gumowe) lub złącz gwintowych względnie kołnierzowych (rurociągi stalowe).

Na rys. 1 przedstawiono schematycznie wdrażany aktualnie w budownictwie podziemnym układ pneumatyczny transportu mokrych mas betonowych.



Rys. 1. Układ pneumatycznego transportu poziomego mokrej masy betonowej
1 - zbiornik z mieszadłem, 2 - silnik napędowy, 3 - sprzęgło przeciążeniowe, 4 - przekładnia redukcyjna, 5 - instalacja sprężonego powietrza, 6 - podajnik strumieniowy, 7 - przewód tłoczny, 8 - komora wypływowa, 9 - dysza natryskowa

3. Pneumatyczny transport poziomy mokrych mas betonowych z wykonywaniem betonu natryskowego

Przeprowadzone badania [10] wykazały, że najkorzystniejsze parametry wytrzymałościowe uzyskuje beton natryskowy wykonywany przy zastosowaniu pneumatycznego transportu mokrej masy betonowej o konsystencjach gęstoplastycznych.

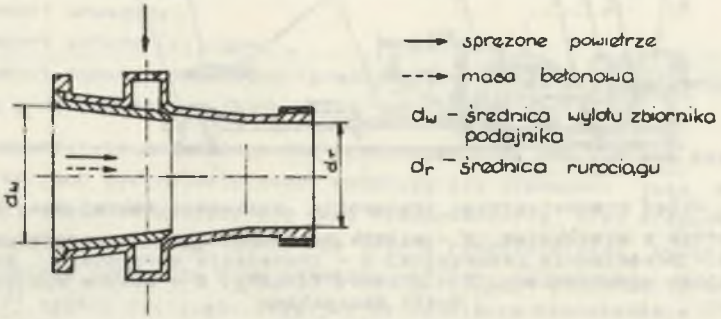
Dla przeprowadzenia poziomego pneumatycznego transportu mokrej masy betonowej wraz z jej natryskiem muszą być spełnione następujące warunki:

- średnica przewodu tłocznego nie może być większa od 50 mm (ze względu na ręczne operowanie dyszą natryskową),
- prędkości powietrza muszą być większe od tzw. prędkości unoszenia [1], co zapewnia transport bez korków oraz dużą prędkość wypływu masy betonowej z dyszy natryskowej,
- wypływ masy betonowej z dyszy natryskowej powinien być ciągły,
- receptura i skład ziarnowy mieszanki betonowej powinny być zgodne z wartościami podanymi w opracowaniu [6],
- konsystencja natryskiwanej masy powinna być gęstoplastyczna (Ve - Be = = 15-35, W/C = 0,4-0,5).

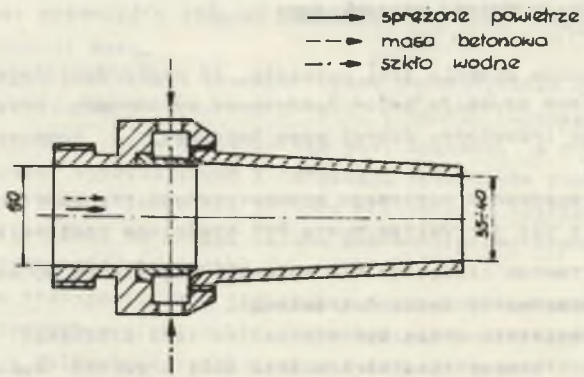
Powyższe warunki zostały spełnione przy transporcie mokrych mas betonowych za pomocą pneumatycznej natryskownicy betonu WUBFT-400, gdzie zastosowano gumowy przewód tłoczny o średnicy wewnętrznej 50 mm, prędkości

powietrza 30-40 m/s były większe od prędkości unoszenia średnio o 20%, a średnia prędkość wypływających ziarn mieściła się w zakresie 20-25 m/s co dawało dobre zagęszczenie natrysku.

Ciągłość wypływu uzyskano poprzez zwiększenie częstości wprowadzania porcji masy betonowej do rurociągu tłocznego, doprowadzeniu na wylocie zbiornika sprężonego powietrza poprzez wylotowy podajnik strumieniowy Ø 50 rys. 2 oraz zwężenie przekroju wylotowego dyszy natryskowej i wprowadzeniu do niej dodatkowego powietrza rys. 3 .

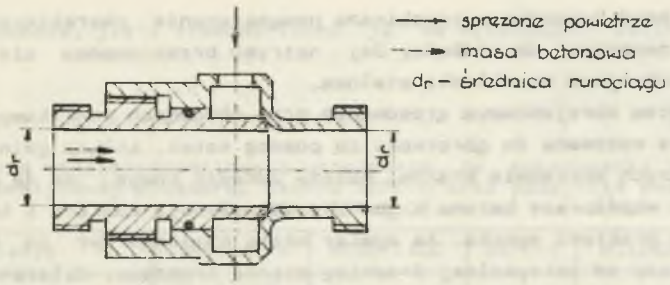


Rys. 2. Podajnik strumieniowy wylotowy



Rys. 3. Dysza natryskowa

Doświadczenia praktyczne wykazały, że długość poziomego przewodu tłocznego o średnicy Ø 50 przy transportowaniu gęstoplastycznych mas betonowych, przy zachowaniu wyżej wymienionych warunków, nie może przekraczać 40 m ze względu na możliwość występowania zatorów przepływu. Zwiększenie odległości poziomego transportu rurociągiem Ø 50 powyżej 40 m można uzyskać poprzez doprowadzenie do tego rurociągu dodatkowego sprężonego powietrza poprzez tzw. wspomagający podajnik strumieniowy Ø 50 rys. 4 .



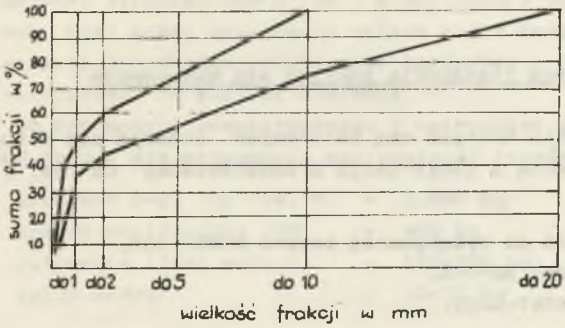
Rys. 4. Podajnik strumieniowy wspomagający

Podajniki te należy montować do rurociągu tłocznego w odległości co 20 m. W celu uzyskania niezawodnego transportu mokrej masy betonowej bez korków wraz z jej natryskiem oraz wysokiej jakości betonu natryskowego musi być przestrzegana odpowiednia technologia tego transportu.

4. Technologia wykonywania betonu natryskowego sposobem pneumatycznym metodą "mokrą"

Cechy betonu natryskowego zależą od rodzaju i proporcji składników w masie betonowej oraz od czynników związanych z jej transportem i nałożeniem.

Przy pneumatycznym transporcie i natrysku masy betonowej metodą "mokrą" mamy pełną kontrolę nad dozowaniem i wymieszaniem wszystkich składników betonu, co, jak już wspomniano w punkcie 1, pozwala na utrzymywanie wymaganej konsystencji oraz współczynnika W/C przez cały cykl betonowania.



Rys. 5. Obszar krzywych przesiewu kruszywa przy pneumatycznym poziomym transporcie mokrej masy betonowej

Do transportu i natrysku pneumatycznego mokrych mas betonowych przy wykonywaniu konstrukcji obudów zaleca się stosowanie cementu portlandzkiego 350 lub 250 wg PN-69/B-30001. Do zarobu betonu należy stosować wodę o warunkach określonych w PN-58/B-32250. Konsystencja Ve-Be wg PN-63/B-06250 mokrej masy betonowej winna mieścić się w zakresie 15-35, zaś współczynnik wodno-cementowy W/C nie powinien być większy od 0,5. Jako kruszywo zaleca się stosowanie naturalnego kruszywa otoczakowego wg BN-69/6721-02 o uziarnieniu w obszarze krzywych przedstawionych na rys. 5.

Mokra masa betonowa natryskiwana pneumatycznie charakteryzuje się dobrą przyczepnością do podłoża. Jej natrysk przeprowadza się często na podłoże uzbrojone we wkładki stalowe.

Elementem zbrojeniowym stosowanym przy obudowach powłokowych jest siatka stalowa mocowana do górotworu za pomocą kotwi, kołków gwintowanych lub wbetonowanych uprzednio prętów. Należy zwrócić uwagę, że na wielkość odpadu oraz współpracę betonu z górotworem wpływają wymiary i kształt oczek siatki. Z praktyki wynika, że wymiar oczka powinien być co najmniej 10 razy większy od maksymalnej średnicy ziarna kruszawa. Zalecane jest stosowanie siatek zbrojeniowych typu SZ-R o oczkach 100x100 mm [6].

Jednym z dalszych czynników wpływających na jakość konstrukcji z betonu natryskowego jest odległość dyszy natryskowej od natryskiwanego podłoża [8].

Dla pneumatycznego transportu i natrysku mokrej masy betonowej należy zachowywać odległość wylotu dyszy od podłoża w granicach 0,5-1,0 m, co zapewnia dobre zagęszczenie i mały odpad natryskiwanego materiału.

Grubość natryskiwanej warstwy przy jednym zabiegu betonowania zależy od właściwości podłoża; w ogólności przy natrysku pneumatycznym metodą "mokrą" (bez środków przyśpieszających wiązanie), grubość ta ze względu na odspajanie się natryśniętej powłoki nie powinna być większa od 100 mm przy natrysku na ściany pionowe (ociosy) i 50 mm przy natrysku na ściany poziome (stropy).

Zwiększenie grubości natrysku w jednym zabiegu można uzyskać poprzez stosowanie środków przyspieszających wiązanie i twardnięcie cementu. W budownictwie górniczym stosuje się najczęściej szkło wodne i chlorek wapnia. Ze względu na niekorzystny wpływ tych środków na jakość betonu (szczególnie środków ciekłych) należy ograniczać ich stosowanie do przypadków koniecznych.

5. Urządzenia do pneumatycznego transportu mokrych mas betonowych

Do pneumatycznego transportu mokrych mas betonowych stosuje się w budownictwie podziemnym urządzenia o konstrukcji przedstawionej na rys. 1. Do urządzeń tych należą:

- wieloczynnościowe urządzenie do wykonywania betonu WUBET-400,
- pneumatyczna podawarka betonu BEPO-S,
- podajnik pneumatyczny MIXOKRET-500E.

Urządzenia WUBET-400 i BEPO-S są produkcji krajowej, natomiast podajnik MIXOKRET-500E jest importowany z RFN.

Dane techniczne wyżej wymienionych urządzeń podano w tablicy 1.

Aktualnie rozpowszechnia się w budownictwie podziemnym urządzenie WUBET-400, które przeszło pozytywne próby stanowiskowe i przemysłowe. Przy pomocy tego urządzenia można zarówno transportować mokrą masę betonową.

np. za odeskowanie, jak i transportować ją do wykonywania betonu natryskowego.

Tablica 1

Dane techniczne wieloczynnościowego urządzenia do wykonywania betonu WUBET-400, pneumatycznej podawarki betonu BEPO-S oraz podajnika pneumatycznego MIXOKRET-500E

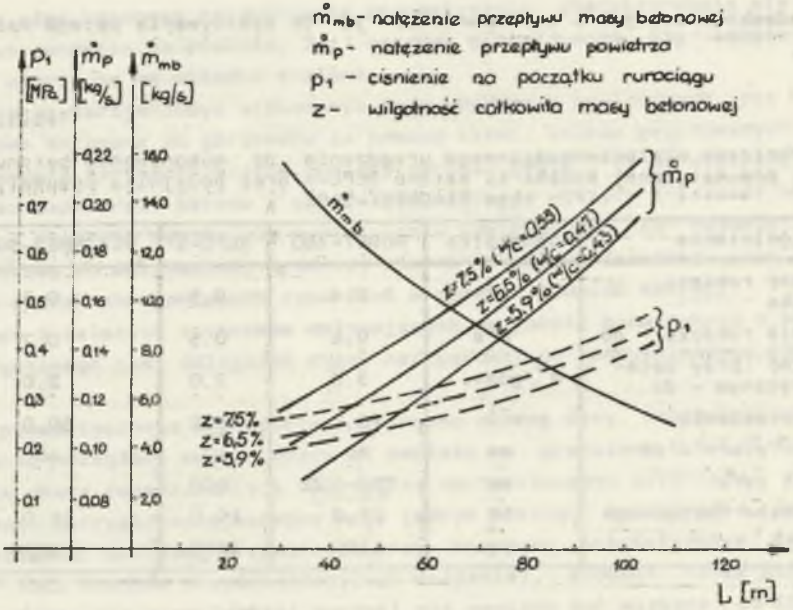
Wyszczególnienie	Jednostka	WUBET-400	BEPO-S	MIXOKRET-500E
Pojemność robocza zbiornika	m^3	0,4	0,5	0,5
Ciśnienie robocze - do	MPa	0,6	0,5	0,7
Wydajność (przy załadunku ręcznym - do	m^3/godz.	3,0	2,0	2,0
Obroty mieszadła	min^{-1}	46,2	46,2	50,0
Wielkość ziarn - do	mm	40	20	40
Prześwit toru	mm	750-900	600	-
Moc silnika napędowego	kW	15,0	15,0	15,0
Masa	kg	1300	2190	980

Urządzenie WUBET-400 charakteryzuje się prostotą konstrukcji i łatwością obsługi. Posiada większą wydajność niż urządzenia BEPO-S i MIXOKRET-500E głównie z powodu zastosowania w nim przesiewacza (BEPO-S i MIXOKRET-500E posiadają sita stałe). Składa się ono ze zbiornika ciśnieniowego, w którym obraca się mieszadło napędzane silnikiem elektrycznym poprzez zębatą przekładnię redukcyjną i sprzęgło przeciążeniowe, przesiewacza, instalacji sprężonego powietrza, podwozia o zmiennym prześwicie toru oraz wyposażenia. W skład wyposażenia wchodzą: przewody tłoczne Ø 100 i Ø 50, podajniki strumieniowe Ø 100 i Ø 50, komora wypływowa oraz dysza natryskowa. Cykl pracy urządzenia składa się z dwóch części - załadowania i wymieszania składników mokrej masy betonowej i transportu tej masy bez lub z natryskiem) do miejsca ułożenia.

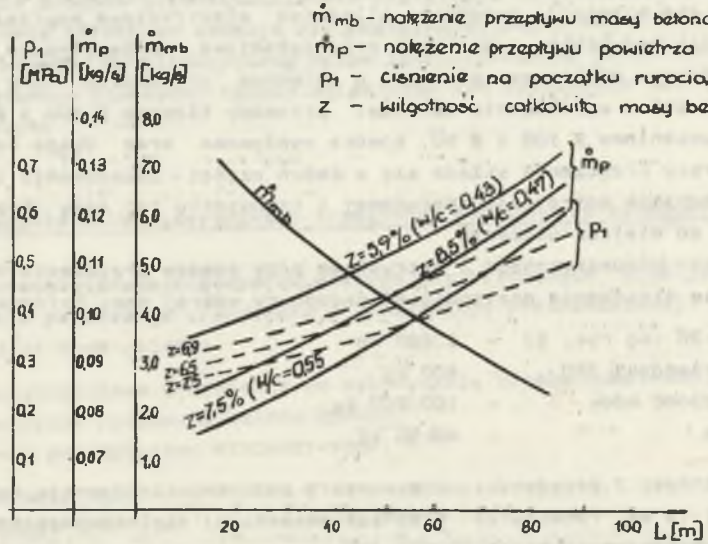
Do transportu pneumatycznego z natryskiem przy pomocy urządzenia WUBET-400 zaleca się stosowanie następującej receptury mokrej masy betonowej:

kruszywo 0-20 (wg rys. 5) - 1.880 kg
cement portlandzki 350 - 400 kg
całkowita ilość wody - 160-200 kg
szkło wodne - 40-50 kg

Na rys. 6 i rys. 7 przedstawiono parametry poziomego transportu mokrej masy betonowej (o ww. recepturze przy zastosowaniu wieloczynnościowego urządzenia do wykonywania betonu WUBET-400.



Rys. 6. Parametry pneumatycznego transportu poziomego mokrej masy betonowej rurociągiem Ø 100 mm przy zastosowaniu podajnika WUBET-400



Rys. 7. Parametry pneumatycznego transportu poziomego mokrej masy betonowej z natryskiem rurociągiem Ø 50 mm przy zastosowaniu podajnika WUBET-400

6. Wnioski

6.1. Ze względu na uzyskane pozytywne wyniki doświadczalne i ruchowe pneumatycznego transportu mokrych mas betonowych oraz duże zapotrzebowanie konstrukcji betonowych w podziemiach kopalń należy dążyć do rozpowszechnienia tego rodzaju transportu.

6.2. Dążyć należy do stosowania w budownictwie podziemnym podajników pneumatycznych o działaniu wieloczynnościowym, tzn. mających techniczne możliwości zarówno transportowania mokrych mas betonowych bez natrysku jak i z natryskiem.

6.3. Pneumatyczny transport mokrych mas betonowych szczególnie z wykonywaniem betonu natryskowego należy przeprowadzać zgodnie z opracowaną technologią [6].

6.4. Dla zapewnienia transportu bez korków oraz wysokiej jakości betonu natryskowego (o recepturze jak w punkcie 5) parametry tego transportu powinne być zgodne z wartościami podanymi na rysunkach 6 i 7.

6.5. W celu zwiększenia wydajności urządzeń do pneumatycznego transportu mokrych mas betonowych należy zmechanizować załadunek składników tych mas.

6.6. W urządzeniach o konstrukcji wg rys. 1 dla całkowitego wyeliminowania pulsacji wpływu przy wykonywaniu betonu natryskowego pożądane jest rozwiązanie i zastosowanie regulacji ilości mokrej masy betonowej wprowadzanej ze zbiornika do rurociągu tłocznego.

LITERATURA

[1] Atamanskij S., Szczukin A.: Opriedielenije skorosti witanija i torganija komponientow nabryzg-bietonnych smiesiej. IWUZ 1972. Gornyj Żurnał nr 4.

[2] Garbonow B i inni: Wlijanije dliny bietonoprowoda na procznost bietona pri pnewmaticzeskom transportirowanii bietonnoj smiesii". Sachtnoe Stroitielstwo 1969 nr 10.

[3] Kopyciński B.: Przygotowanie, transport i układanie betonu. Wyd. ARKADY, Warszawa 1973.

[4] Lubański S.: Wieloczynnościowe urządzenie do wykonywania betonu WUBET-400. Rudy i Metale Nieżelazne 1976, nr 2.

[5] Majchrowicz R.: Problemy wodoszczelności betonowej obudowy w szybach głębionych metodą zamrażania. Budownictwo Górnicze 1973 nr 2 (wkładka).

[6] Mateja J., Lubański S.: Technologia betonu natryskowego i urządzenia do jego wykonywania w świetle przeprowadzonych badań. Materiały konferencyjne - Budownictwo Górnicze 1975. Mysłowice, listopad 1976.

[7] Mateja J., Lubański S.: Transport masy betonowej w budownictwie podziemnym i jego wpływ na jakość betonu. Budownictwo Górnicze 1974, nr 4.

[8] Mateja J.: Wpływ czynników mechanicznych związanych z przygotowaniem, transportem i nanoszeniem masy betonowej na parametry betonu natryskowego wykonywanego w warunkach kopalnianych. Praca doktorska. Gliwice 1974.

[9] Pajer G., Kurth F.: Stetigförderer. VEB Verlag Technik. Berlin 1967.

[10] Sprawozdanie z badań nad udoskonaleniem betonu natryskowego. ZBiDBG Mysłowice 1974. Praca nie publikowana.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ БЕТОННОЙ МАССЫ В ШАХТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Резюме

В работе даются результаты исследований транспорта бетонной массы в шахтном строительстве, технологии изготовления бетонной массы и оборудование для транспорта.

PNEUMATIC CONCRETE MIX TRANSPORT

Summary

Concrete mix transport test results in underground constructions have been presented along with transportation facilities and means of preparing the mix.