

Marian ROBAKOWSKI

PRACE NAUKOWO-BADAWCZE W ZAKRESIE ZUŻYTKOWANIA  
ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW  
BUDOWLANYCH

**Streszczenie.** Zrealizowane prace naukowo-badawcze obejmują rozpoznanie właściwości odpadów przemysłowych górnictwa, hutnictwa i energetyki. Szczególną uwagę zwrócono na opracowanie konkretnych rozwiązań technologicznych zużytkowania odpadów do produkcji materiałów i elementów budowlanych. Uzyskane efekty techniczne i ekonomiczne stanowią podstawę do przemysłowego wykorzystania wyników prac doświadczalnych.

Tematyka prac naukowo-badawczych realizowanych w Zakładzie Technologii Materiałów Budowlanych a następnie przez Zespół Dydaktyczny Technologii Materiałów Budowlanych jest ściśle związana z regionem Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego.

Podjęmowane tematy w większości dotyczą:

- zagospodarowania użytecznych odpadów przemysłowych górnictwa, hutnictwa i energetyki,
- technologii nowych materiałów i elementów budowlanych,
- technologii betonów zwykłych i lekkich z kruszyw sztucznych.

Prace naukowo-badawcze są wykonywane na zlecenie Zjednoczeń, Zakładów i Ośrodków Badawczo-Rozwojowych oraz jako prace doktorskie, magisterskie i inżynierskie.

1. Prace realizowane na zlecenie gospodarki uspołecznionej

1.1. Piaskowce z robót przygotowawczych

W górnictwie węglowym istnieje możliwość odzyskania i zagospodarowania kamieni naturalnych z robót przygotowawczych. Na podstawie przeprowadzonych badań [15, 39] ustalono, że piaskowce z Rybnickiego Okręgu Węglowego posiadają strukturę droбноziarnistą, gęstość objętościową  $2470 \pm 2600 \text{ kg/m}^3$ , nasiąkliwość  $2,5 \pm 2,8\%$ , ścieralność  $9,1 \pm 9,8\%$ , wytrzymałość na ściskanie  $54 \pm 79 \text{ MPa}$ . Wykazują one całkowitą przydatność do produkcji kruszywa łamanego do betonu klasy B200, a ponadto jako tłuczeń do nawierzchni drogowych i kolejowych kl. III, odmiany 2.

Na podstawie ilościowego rozpoznania opracowano koncepcję zakładu kruszywa łamanego o wydajności 112 tys. ton/rok. Wyliczony wskaźnik rentowności wynosi około 3 miesiące.

### 1.2. Ż u ż l e p a l e n i s k o w e

Żużla paleniskowe nie stanowią obecnie odpadów w skali masowej. Wprowadzone zmiany w technologii spalania węgla kamiennego doprowadziły do zredukowania ilości tych odpadów. W roku 1959 wykonana została praca polegająca na uszlachetnieniu żużli paleniskowych Elektrowni Będzin metodą spiekania i na ruszcie podsuwowo-zwrotnym. Pozytywne wyniki przeprowadzonych badań i doświadczeń stały się podstawą do zaprojektowania komory paleniskowej spiekania żużli w temperaturze  $950 \pm 1200^{\circ}\text{C}$  na kruszywo o strukturze porowatej. Paliwem technologicznym są cząsteczki niespalonego węgla w żużlu, przekraczające 40%. Kruszywo po przeróbce mechanicznej posiada gęstość nasypową  $800 \text{ kg/m}^3$ , strukturę spieczoną i zarazem porowatą. Nadaje się do wykonywania betonów lekkich o wytrzymałości do 10 MPa, gęstości objętościowej  $1200 \pm 1500 \text{ kg/m}^3$  i współczynnika przewodności cieplnej  $0,58 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ .

Wyniki badań posłużyły do opracowania technologii produkcji tego kruszywa oraz dokumentacji i umożliwiającej zrealizowanie inwestycji.

Szkodliwy wpływ niespalonego węgla występującego w postaci częściowo skoksowanych ziarn żużla oraz nadmiernej zawartości siarki w postaci siarczanów i siarczków w wielu przypadkach spowodował znaczne zniszczenia i straty gospodarcze.

W okresie budowy miasta Nowe Tychy wystąpiło odepajanie i odpadanie tynków oraz zarysowanie elementów wieloblokowych po dłuższym, 5-letnim użytkowaniu budynków mieszkalnych. Przeprowadzone badania [8, 33] ujawniły odstępowanie od wymagań normowych dopuszczalnej zawartości węgla i związków siarki w niesortowanym i nieuszlachetnionym żużlu paleniskowym. Słabo związane tynki z nieodpowiednio przygotowanym podłożem uległy odepojeniu wskutek zmian cieplno-wilgotnościowych, prężności pary wodnej i nadmiernej wilgotności. Opracowane zalecenia i wytyczne naprawy tynków wewnętrznych zahamowały procesy dalszych uszkodzeń.

### 1.3. P o p i o ł y l o t n e

Popioły lotne powstające w procesie spalania mielonego węgla kamiennego stanowią praktycznie niewyczerpane źródło użytecznych odpadów, wykorzystywanych w różnych dziedzinach budownictwa w ilościach stosunkowo skromnych. Wykonana praca naukowo-badawcza [10] potwierdziła przydatność popiołów lotnych jako domieszki do zapraw cementowo-wapiennych, stosowanych przy tynkowaniu mechanicznym. Zastąpienie części piasku naturalnego popiołami lotnymi w ilości 130 do  $150 \text{ kg/m}^3$  wpływa na polepszenie urabialności i plastyczności oraz zmniejszenie oporów tarcia w rurociągach podczas przemieszczania zaprawy pod ciśnieniem roboczym na stanowisku tynkowania. Dalsze zalety to zwiększenie izolacyjności termicznej tynku, zmniej-

szenie skurczu oraz wykorzystanie właściwości pucolanowych popiołów lotnych, co też umożliwi zmniejszenie zużycia cementu do 20%. Za optymalną mieszankę, szczególnie przydatną przy mechanicznym tynkowaniu, uznano cementowo-wapienną o stosunku objętościowym 1:1:1:5 (cement, wapno, popiół lotny, piasek).

#### 1.4. Pyły hutnicze

Powstające w procesie produkcyjnym żelazostopów krzemionkowe płyty hutnicze nie posiadają żadnych faz krystalicznych, charakteryzują się bardzo drobnym uziarnieniem, w większości do  $5\mu\text{m}$ , a ziarenka o wymiarach poniżej  $2\mu\text{m}$  stanowią około 50%. Powierzchnia właściwa wynosi około  $24.000\text{ cm}^2/\text{g}$ . Przy powiększeniu  $3000\times$  widoczne są gąbczaste konglomeraty o dużej porowatości, przypominające z wyglądu świeży "puch śnieżny" o matowym odcieniu. Pojedyncze ziarna nie dają się zidentyfikować. Gęstość nasypowa pyłów hutniczych w stanie luźnym wynosi  $210\text{ kg}/\text{m}^3$  a w stanie zagęszczonym  $370\text{ kg}/\text{m}^3$ . Zawartość krzemionki  $\text{SiO}_2$  przekracza 90%.

Na podstawie licznych prac badawczych [53, 54, 57, 69, 71] ustalono przydatność pyłów hutniczych w postaci domieszki do betonów i zapraw, znacznie polepszającej urabialność i wpływającej na podwyższenie wytrzymałości. Wykonane badania zaczynów cementowo-popiołowych z dodatkiem pyłów hutniczych [52, 55] ujawniły korzystne cechy fizyczne i mechaniczne tego tworzywa. Na tej też podstawie opracowano nową formułę pyłowego wekaźnika uziarnienia [52, 69], umożliwiającego kształtowanie fizykomechanicznych właściwości zaczynów cementowo-popiołowych. Korzystne rezultaty techniczne uzyskuje się w tzw. "chudych zaczynach cementowo-popiołowych", charakteryzujących się niskim zużyciem cementu, wysoką wytrzymałością i niską przewodnością cieplną.

#### 1.5. Łupki przywęglowe i betony z kruszywa łupkoporytowego

Łupki przywęglowe wydzielone z urobku w procesie mechanicznej przeróbki węgla kamiennego stanowią bardzo wartościową bazę surowcową do produkcji kruszywa spiekanego. Występujące cząsteczki węgla w postaci łusek i drobnych ziarn rozproszonych w całej masie spełniają rolę paliwa technologicznego i wpływają na zmniejszenie energochłonności przy wytwarzaniu tego kruszywa. Spośród kruszyw sztucznych łupkoporyt należy do najkorzystniejszych z racji osiąganych wysokich wytrzymałości, korzystnej gęstości pozornej i izolacyjności termicznej.

Ocenę jakości i przydatności surowego łupka przywęglowego przeprowadzono na materiale hałdowym Kopalni "Rokitnica" [11]. Wykonane próby spiekania w urządzeniu panwiovym, w temperaturze  $1190^\circ\text{C}$ , potwierdziły przydatność do wytwarzania spiecznionego lekkiego kruszywa oraz do produkcji wyrobów ceramicznych. Na podstawie przedmiotowych badań uzyskano świadectwo autorskie o dokonany wynalazku Nr 79933 [60].

W okresie budowy pierwszego zakładu kruszyw lekkich w Knurowie na licencji angielskiej przeprowadzono badania jakości produkowanego żupkoporytu [2]. W opracowaniu wskazano na konieczność polepszenia procesu technologicznego przygotowania wsadu, spiekania, schładzania oraz starannego rozsiaiwania na frakcje, zmniejszenia nadmiernego zapylenia i zadymienia.

W roku 1961 przeprowadzono obszerne badania cech technicznych żupkoporytu pobranego z okresu próby gwarancyjnej pod względem zgodności ustalę kontraktu z firmą angielską "Aglite" [3, 26]. Ponadto wykonano badania gęstości objętościowej, nasiękliwości betonu o proporcji zmieszają 1:1,4:1,6 (cement port. 250, żupkoporyt 0÷3 i 3÷5 mm). Wyniki badań nie potwierdziły wymagań określonych w umowie licencyjnej. W kruszynie występują wtęracenia w postaci ziarn nieprzepalonych. Ponadto mieszanki betonowe nie odpowiadają właściwościom wyprodukowanego kruszywa ani też nie znajduję uzasadnienia w zużyciu znacznej ilości cementu 500 kg/m<sup>3</sup>.

W wyniku uęprawień technologicznych przygotowania zgranulowanego wsadu i procesu spiekania uzyskano wysoką jakość kruszywa żupkoporytowego, co też stanowiło podstawę do podjęcia obęzycznej pracy badawczej w latach 1962-1963, ukierunkowanej na zastosowania betonu żupkoporytowego do konstrukcji sprężonych [6, 27, 28, 29, 30, 36]. Po przeprowadzeniu wstępnego rozpoznania sformułowano założenia określajęce wytrzymałość walcową  $R_{28} = 30$  i 40 MPa, gęstość objętościową 1600 do 1800 kg/m<sup>3</sup>, ilość cementu marki 350 poniżej 450 kg/m<sup>3</sup>, uziarnienie do  $\varnothing$  10 i  $\varnothing$  20 mm, dobrą urabialność mieszanki betonowej, jednorodność betonu stwardniałego, szybki przyrost wytrzymałości, dla kablobetonów  $R_{14} = 0,75 R_{28}$ .

W toku prac laboratoryjnych zwrócono szczególną uwagę na dobór optymalnego stosu okruchowego, pozwalajęcego na uzyskanie założonej wytrzymałości betonu przy zapewnieniu dobrej urabialności. Badania wykonano także z dodatkiem popiołów lotnych i domieszki plastyfikujęcą "Plastibet P". Opracowano technologię mieszania i dojrzewania w warunkach normalnych i napażania niskocięnięniowego.

- Wytrzymałość betonu 30 MPa uzyskuje się z żupkoporytu 2 frakcji do 10 mm, o składzie frakcji 0÷5 mm 46% i 5÷10 mm, 54% obj. Stosunek wagowy wynosi 1:0,85, a zużycie cementu 350 kg/m<sup>3</sup>. W przypadku stosowania 3 frakcji 0÷5, 5÷10 i 10÷20 mm stosunek objętościowy frakcji najgrubszych wynosi 1:1 do 1:1,5, a zużycie cementu 400 kg/m<sup>3</sup>. Gęstość objętościowa betonu żupkoporytowego z udziałem 3 frakcji ulega zmniejszeniu o 5%.
- Wytrzymałość betonu 40 MPa jest nieosięgalna z żupkoporytu trzech frakcji a tylko z dwóch, w ilości 24% obj. frakcji 0÷5 mm, 52% obj. frakcji 5÷10 mm i 19% piasku naturalnego, z zastosowaniem cementu 450 kg/m<sup>3</sup>.

Opracowana technologia betonów żupkoporytowych wysokich wytrzymałości znalazła zastosowanie przy produkcji płyt stropowych strunobetonowych metodę Stasea na torze nacięgowym w Bolęcinie, długości 200 m.

Ilościowy wzrost produkcji żupkoporytu, wynoszący obecnie 650 tys. m<sup>3</sup> rocznie, pozwala na znaczne poszerzenie asortymentu wyrobów betonowych.

Kruszywo to ze względu na korzystne cechy wytrzymałościowe i izolacyjne oraz niższą o 30% gęstość pozorną w porównaniu z betonem zwykłym, powinno również znaleźć szersze zastosowanie w produkcji ścian osłonowych i wewnętrznych, płyt stropowych i dachowych w fabrykach domów na terenie województwa katowickiego, traktowane jako materiał miejscowy, nie obciążający transportu.

Podjęta wieloletnia i realizowana od 1976 r. praca naukowo-badawcza [22, 32, 49, 51] uwzględnia ten kierunek zastosowania. Prowadzone badania zmierzają do wprowadzenia jako domieszki popiołów lotnych i upłynniacza SK-1, które polepszają urabialność i umożliwiają zmniejszenie zużycia cementu o około  $30 \text{ kg/m}^3$  betonu. Korzystnym zabiegiem technologicznym jest miksowanie zaczynów cementowo-popiołowych, bowiem sposób ten zwiększa podatność popiołów lotnych do reakcji chemicznych i wzrostu wytrzymałości dzięki ich właściwościom pucolanowym. Uzyskanie wyższych efektów technicznych i ekonomicznych nastąpi po wprowadzeniu zmodernizowanej technologii 2-stopniowego przygotowania mieszanki betonowej, uwzględniającej specyficzne cechy kruszywa żupkoporytowego.

W dążeniu do maksymalnego skrócenia cyklu wytwarzania betonowych elementów prefabrykowanych przeanalizowano dotychczasowe sposoby przyspieszonego dojrzewania. Interesująca z ekonomicznego punktu widzenia jest metoda dojrzewania w polu mikrofalowym. Przeprowadzone badania doświadczalne [23, 50] objęły określenie efektu obróbki termicznej przy zastosowaniu grzejnictwa dielektrycznego na różnej wielkości próbek z pomiarem rozkładu temperatur. Stosowano nagrzew ciągły i cykliczny betonów żupkoporytowych i zwykłych w przyjętych okresach czasowych. Na podstawie tych badań stwierdzono równomierność nagrzewu w całej masie. Intensywność nagrzewu jest proporcjonalna do czasu działania pola elektromagnetycznego i odwrotnie proporcjonalna do masy betonu. Po upływie 3-godzinnej obróbki termicznej uzyskuje się wytrzymałość 10 MPa, umożliwiającą transport elementów na teren składowania. W porównaniu z technologią naparzenia niskociężeniowego uzyskuje się skrócenie cyklu obróbki termicznej o około 50%.

Poszukiwania nowych rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych stanowią niewątpliwie element postępu technicznego, wyrażający się zmniejszeniem ogólnej masy konstrukcji oraz oszczędnością zużycia stali zbrojeniowej.

Przykładem takiego rozwiązania jest estakada w Chorzowie. Wykorzystując cechy materiałowe, stosownie do rozkładu naprężeń, zastosowano w strefie podporowej beton bazaltowy, a w strefie przęsłowej żupkoporytowy. Przeprowadzone badania doświadczalne [20, 44] skoncentrowano na opracowaniu technologii tych betonów, które zgodnie z założeniem wykonywania przęsła w cyklu dwutygodniowym osiągnęły  $0,7 R_{28}$  po upływie 2 dni dojrzewania w warunkach naturalnych. Spełnienie tego warunku było możliwe po zastosowaniu cementu portlandzkiego szybkosprawnego SP-550 lub cementu marki 450 z zastosowaniem obróbki hydrotermicznej.

Dla wyjaśnienia występujących zmian reologicznych i wytrzymałościowych w strefie przejściowej na styku 2 rodzajów betonów zrealizowano program obejmujący badania wytrzymałościowe, oznaczenie współczynnika sprężystości, pełzania i skurczu. Na podstawie tych badań stwierdzono, że w strefie stykowej występuje dobre połączenie i prawidłowa współpraca obydwu betonów.

W budownictwie mieszkaniowym o niskiej zabudowie do trzech kondygnacji stosuje się betony żupkoporytowe, których wytrzymałość nie przekracza klasy B 150. Wymagania te skłoniły do podjęcia badań [53, 57, 59, 71] zmierzających do maksymalnego zmniejszenia zużycia cementu. Zadanie to rozwiązano pomyślnie, stosując tzw. "chude zaczyny cementowo-popiołowe". Technologia przygotowania mieszanki betonu żupkoporytowego polega w pierwszym etapie na wykonaniu zaczynu cementowo-popiołowego, a następnie na zmieszaniu tego zaczynu z uprzednio nawilżonym kruszywem. W ten sposób uzyskano mieszanki o bardzo dobrej urabialności i lepkości, nie ulegające rozsegregowaniu. Domieszka popiołów lotnych w ilości do  $350 \text{ kg/m}^3$  betonu nie spowodowała istotnego zmniejszenia wytrzymałości. Przy zawartości cementu w granicach  $70 \div 80 \text{ kg/m}^3$  uzyskano betony o wytrzymałości na ściskanie  $5 \div 18 \text{ MPa}$  i gęstości objętościowej  $1300 \div 1550 \text{ kg/m}^3$ . Współczynnik przewodności cieplnej tych betonów wynosi  $0,33 \div 0,41 \text{ W/m.K}$ . Korzystne wyniki badań doświadczalnych zostały wykorzystane przy wznoszeniu domków jednorodzinnych o konstrukcji monolitycznej na Osiedlu E-2 w Tychach.

#### 1.6. ż u p k i s a m o c z y n n i e p r z e p a l o n e

Wśród zinwentaryzowanych odpadów górnictwa węglowego na terenie Śląsko-Krakowskiego Okręgu Przemysłowego występuje około 36 mln.<sup>3</sup> przepalonego żupka, który stanowi wartościowy materiał do budowy dróg i jako kruszywo dś betonu.

W celu szerszego rozpoznania właściwości żupków przepalonych pod względem ich przydatności w budownictwie drogowym zrealizowano w latach 1971-1975 pracę naukowo-badawczą [16, 40], obejmującą badania jakościowe kruszywa żupkowego, projektowanie mieszanek betonów bitumicznych i nawierzchni drogowych wraz z wykonaniem odcinków próbnych w terenie. Opracowano ponadto założenia realizacji i rozruchu polowego węzła krusząco-sortującego oraz technologię wykonawstwa nawierzchni drogowych.

Przeprowadzone badania kompleksowe cech fizycznych i mechanicznych kruszywa żupkowego wykazały, że uzyskane wyniki nieznacznie odbiegają od wymagań normowych dla nawierzchni dróg samochodowych (nasiąkliwość  $3,5 \div 7,8\%$ , mrozoodporność  $3,7 \div 17,5\%$ , ścieralność w bębnie Devala  $13,8 \div 15,0\%$ , wskaźnik emulgacji  $0,12 \div 0,31$ ). Zaprojektowane mieszanki bitumiczne poddane badaniom fizycznym oraz obserwacje wykonanych odcinków próbnych w trzyletnim okresie eksploatacji wykazały przydatność kruszywa żupkowego do budowy dróg państwowych i lokalnych oraz warstw wiążących i ścieralnych z mas bitumicznych, z asfaltu lanego i asfaltobetonu, z wykluczeniem ruchu cięż-

kiego. Koncepcja zakładu eksploatacji kruszywa łupkowego opiera się na istniejących i dostępnych urządzeniach uwzględniających efektywność produkcji i wymaganą jakość kruszywa, w porównaniu z dotychczasowymi rozwiązaniami. Przy założonej wydajności kruszywa 180 tys. ton/rok nakłady inwestycyjne zwrócić się po 4 latach. Wyniki badań posłużyły do zgłoszenia dwóch patentów - nr 199776 i 199777 [64, 65].

W wyniku długotrwałych procesów technicznych samoczynnie przepalone łupki przywęglowe ulegają spieczeniu i uzyskują dużą odporność na działanie podwyższonych temperatur. Właściwości te wykorzystuje się w betonach żaroodpornych przy wykonywaniu prefabrykowanych bloków z przewodami dymowymi, w wielokondygnacyjnym budownictwie mieszkaniowym. Ocenę jakości betonu łupkowego i wykonanych bloków przeprowadzono na podstawie badań [12,35] obejmujących sprawdzenie ogniotrwałości zwykłej i pod obciążeniem, zmiany liniowej w przedziale temperatur 200 do 600°C, wytrzymałość po badaniach wpływu temperatur, przewodność cieplną i szczelność ścianek bloków z przewodami dymowymi. Badania laboratoryjne potwierdziły przydatność betonu żaroodpornego o wytrzymałości 11 i 14 MPa do produkcji bloków kominowych. Spełniają one wymagania w zakresie ognioodporności, wytrzymałości i szczelności. Rozszerzalność termiczna w przedziale temperatur 200÷600°C wynosi 0,77 do 5,71%. W rzeczywistości odkształcenia te są znacznie niższe ze względu na niższą temperaturę spalin.

### 1.7. B e t o n y z w y k ł e

Wznoszenie kominów żelbetowych w technologii deskowań ślizgowych należy do bardzo efektywnych sposobów wykonawstwa budowlanego. W pracy naukowo-badawczej [19] dotyczącej tej problematyki przedstawiono wyniki badań zagęszczania, określania maksymalnej grubości warstwy układania mieszanki betonowej, minimalnego i maksymalnego jednorazowego podnoszenia deskowań oraz dopuszczalnej długości przerw roboczych. Szczególną uwagę zwrócono na wytrzymałości początkowe po 1,3,8 i 10 godz. wiązania. Określono również stopień naruszenia struktury zagęszczonego betonu w czasie podnoszenia deskowań oraz jego zasięg. Badania objęły ponadto wpływ wibracji i rewibracji na wytrzymałość na ściskanie, zmiany liniowe, wytrzymałość na rozciąganie po 2,4,6,8 i 24 godz., zmiany objętościowe wywołane cyklicznym przyrostem siły. Określono wielkości siły tarcia, parcia i przyczepności. Na podstawie uzyskanych wyników badań doświadczalnych na wycinku konstrukcji ślizgowej określono optymalne parametry technologiczne szybkości podnoszenia deskowań, dopuszczalnego przekroju i częstotliwości zagęszczania wibratorem wgłębnym. Stwierdzono, że istnieje możliwość przyspieszonego betonowania, zwiększenie postępu wznoszenia deskowań o 120% (480 cm/dobę) i skrócenie cyklu inwestycyjnego o 50%.

Warunki klimatyczne ograniczają wykonanie robót betonowych w okresach obniżonych temperatur na otwartej przestrzeni. Właściwym kierunkiem wydłużenia tego okresu jest wprowadzenie do mieszanki betonowej dodatków che-

micznych. W pracy [24] dotyczącej tej tematyki przedstawiono wyniki badań zaczynów, zapraw i betonów z domieszkami chlorku wapniowego, azotynu sodu, węglanu sodu, potasu i Gelexu. Większość stosowanych dodatków chemicznych, umożliwiających betonowanie w temperaturze do  $-15^{\circ}\text{C}$ , daje niekie wytrzymałości w pierwszym okresie twardnienia i powoduje znaczne obniżenie wytrzymałości końcowej betonu. Niektóre z nich, np. węglany, niekorzystnie zwiększają przyczepność betonu do deskowań.

Z przeprowadzonych badań wynika, że najkorzystniejsze wyniki uzyskuje się przy zastosowaniu azotynu sodu oraz Gelexu, przy użyciu cementów wysokich marek i szybkosprawnych. Wskazane jest również podgrzewanie kruszywa i wody.

Wyniki badań opracowanej technologii betonu z zastosowaniem dodatków chemicznych są wykorzystywane przez Zjednoczenie Budowy Pieców Przemysłowych.

### 1.8. B e t o n y   z a r o o d p o r n e

Wykładziny kominów przemysłowych wykonywane w technologii deskowań ślizgowych i przestawnych z betonu żaroodpornego stanowią postęp techniczny w porównaniu z metodami tradycyjnymi tych robót. Warunki eksploatacyjne narzucają wymagania odpowiedniej odporności tych betonów na działanie podwyższonych temperatur. Stosownie do rzeczywistych warunków użytkowania przeprowadzone badania [18, 21] elementów płytowych wykonanych w deskowaniach ślizgowych i przestawnych z betonu łupkoporytowego, keramzytowego i szamotowego z zastosowaniem cementu portlandzkiego Saturn 350 i glinowego Górkał oraz domieszki popiołów lotnych. Badania odporności na działanie podwyższonych temperatur polegały na cyklicznym nagrzewaniu próbek w temp. 100, 200 i  $300^{\circ}\text{C}$ , a następnie nasycaniu ich roztworem siarczanu magnezowego. Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki stanowiły podstawę do opracowania wytycznych wytwarzania i układania betonu żaroodpornego wykładzin kominów przemysłowych wykonywanych metodą deskowań ślizgowych i przestawnych.

Zapewnienie właściwej izolacyjności termicznej wolnostojących kominów przemysłowych jest jednym z podstawowych warunków prawidłowej ich pracy. Ze względu na zróżnicowane przedziały temperatur spalin konieczne jest stosowanie materiału o wysokich właściwościach izolacyjnych, charakteryzujących się małą odkształcalnością termiczną. Materiałem spełniającym te wymagania jest żaroodporny beton izolacyjny wykonany z kruszywa keramzytowego, cementu portlandzkiego marki 350 i domieszki popiołów lotnych.

W wyniku przeprowadzonych badań [24, 38, 41, 48] opracowano technologię izolacyjnego betonu żaroodpornego, spełniającego te wymagania oraz wytyczne technologiczne umożliwiające wytworzenie elementów prefabrykowanych w skali przemysłowej. W celu określenia wytrzymałości betonu żaroodpornego wykładzin wykonanych metodą deskowań ślizgowych i przestawnych wewnątrz komór żelbetowych, przeprowadzono badania nieniszczące za pomocą



młotka Schmidta [15]. Umożliwia to szybką ocenę wytrzymałości tych wykładzin w przedziale 15÷35 MPa, bez konieczności wycinania próbek. Wyniki badań posłużyły do opracowania wytycznych posługiwania się młotkiem Schmidta przy ocenie wytrzymałości betonu żaroodpornego z kruszywem keramzytowym.

#### 1.9. Domieszki do betonów, środki antyadhezyjne i impregnacyjne

W celu sprawdzenia właściwości uszczelniających betonów zwykłych zastosowano domieszkę żużla posulfitowego w ilości 0,15 suchej substancji z równoczesnym zmniejszeniem wody zarobowej o 10%. W celu porównania intensywności działania tej domieszki wykonano dwie dodatkowe serie próbek ze zwiększoną o 40 kg ilością cementu, z których jedna nie zawierała żużla posulfitowego [4]. Badania objęły sprawdzenie własności technicznych składników, pomiary konsystencji betonu, zawartości powietrza w mieszance betonowej, wytrzymałość po 7 i 28 dniach twardnienia, zmiany liniowe w ciągu 90 dni twardnienia, wilgotność, nasiąkliwość, kapilarność i przesiąkliwość pod ciśnieniem. Z przeprowadzonych badań wynika, że założoną szczelność pod ciśnieniem wody 0,7 MPa uzyskuje beton o grubości 6 cm z domieszką żużla posulfitowego i zwiększoną o 40 kg ilością cementu.

Na zlecenie Zjednoczonych Zespołów Gospodarczych "INCO" przeprowadzono w r. 1966 badania wpływu 3 domieszek - Plastibet S, Plastibet SK i Hydrobet - na szczelność zaprawy cementowej o stosunku 1:1,5:4 (cement portlandzki 250, piasek drobny, piasek gruby). Domieszki stosowano w ilościach 1, 2, 3, 4 i 6% w stosunku do masy cementu. Dla każdej mieszanki różniące się ilością domieszki określono gęstość objętościową, konsystencję oraz przesiąkliwość pod ciśnieniem 0,1, 0,3, 0,5 i 0,7 MPa na próbkach walcowych  $\phi$  16 cm. Stwierdzono, że oprócz podstawowego uszczelniającego działania domieszki te posiadają właściwości plastyfikujące, dzięki czemu istnieje możliwość zmniejszenia wody zarobowej o 2÷7% w porównaniu z zaprawą bez domieszek. Skuteczność przebadanych domieszek różni się między sobą. Najkorzystniejsze właściwości uszczelniające posiada Hydrobet, a w następnej kolejności Plastibet SK i Plastibet S. Wymienione domieszki nie obniżają wytrzymałości, lecz ją zwiększają w granicach 18% i nie wpływają w istotny sposób na wielkość skurczu.

W poszukiwaniu tanich i skutecznych środków do powlekania form o właściwościach antyadhezyjnych przeprowadzono badania dwóch preparatów w postaci cieczy. Oznaczono cechy fizyko-chemiczne, zachowanie się stali i drewna w środowisku tych preparatów, wpływ ilości i twardnienia oraz wytrzymałość betonu. Ponadto ustalono przyczepność form drewnianych i stalowych smarowanych tymi preparatami do betonu. Przeprowadzone badania wykazały pełną przydatność oleistych preparatów jako środków przeciwdziałających przyczepności betonu do form i deskowań. Nie wywierają one szkodliwego działania na materiał form. Preparat Nr 1 posiada właściwości zapobie-

gania korozji stali, natomiast preparat Nr 2 posiada własności impregnowania drewna przed wilgocią, zapobiega powstawaniu mikroorganizmów i niszczenia przez owady. Ze względu na zakłócenie procesów wiązania cementu i twardnienia zapraw i betonów nałożona powłoka tych preparatów nie może ściekać ani też mieszać się ze świeżymi mieszankami zapraw i betonów. Opracowana i zastosowana metodyka badań przyczepności może być wykorzystana przy ocenie przydatności innych preparatów przeciwp przyczepnych.

Zwiększenie trwałości płyt trzcinowych uzyskuje się przez nasycenie środkami impregnacyjnymi, które przeciwdziałają wnikaniu wilgoci. Badania przeprowadzono z zastosowaniem pięciu preparatów - ksylomit, szkło wodne, pięciochlorofenolan sodu, siarczan emonowy, siarczan miedzi - w zróżnicowanych warunkach wilgotnościowo-wodnych zbliżonych do rzeczywistych warunków użytkowania [14]. Na podstawie przeprowadzonych badań obejmujących oznaczenie gęstości pozornej, higroskopijności, kapilarności, nasiąkliwości wagowej i objętościowej w wodzie i roztworach chemicznych ustalono, że trawienie próbek w wymienionych impregnatkach w ciągu 3 tygodni nie wywołuje zmian fizycznych ani mechanicznych. Nie stwierdzono też procesów mikrobiologicznych w roztworze, ani też na powierzchni łądy trzciny. Higroskopijność płyt jest duża, wynosi 25÷30%, wobec dopuszczalnej 15%. Nasiąkliwość jest również duża, wynosi 130 do 150% wagowo. Cechą dodatnią zasługującą na podkreślenie jest skuteczność impregnacyjna stosowanych w badaniach środków chemicznych. Przeciwdziałają one powstawaniu procesów mikrobiologicznych i gnilnych.

#### 1.10. P ł y t y i z o l a c y j n e

Odpady folii aluminiowej podklejonej papierem i warstwą polistyleny występują w postaci ścinków bocznych i niewymiarowych zmiętych dużych arkuszy. Po przeprowadzeniu rozpoznania cech technicznych wykonano badania doświadczalne nad przydatnością do wytwarzania płyt budowlanych [17,42,46]. Opracowana technologia obejmuje pocięcie odpadów na pasemka, z których formuje się płyty w formach skrzynkowych lub metodą taśmową z równoczesnym dociskiem i podgrzewaniem do temperatury mięknięcia polistyleny, spełniającego rolę lepiszcza. W zależności od stopnia sprasowania w procesie produkcyjnym otrzymuje się płyty sztywne izolacyjne o gęstości pozornej  $100 \text{ kg/m}^3$  i współczynnika przewodności cieplnej  $0,104 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  lub płyty izolacyjno-konstrukcyjne o zróżnicowanej gęstości objętościowej od 300 do  $600 \text{ kg/m}^3$  i wytrzymałości na zginanie w granicach 2,2 do 5,5 MPa.

W opracowaniu podano optymalne parametry technologiczne w zakresie przygotowania surowca, doboru maszyn i urządzeń, sposobu wytwarzania płyt oraz cech technicznych wyrobów. Zaletą opracowanej technologii jest wykorzystanie własności sklejanego się pociętego surowca odpadowego podczas formowania płyt poddanych nagrzaniu w temperaturze do  $100^\circ\text{C}$ , bez wprowadzenia jakichkolwiek dodatkowych składników. Analiza kosztów wykazuje, że inwestycja będzie należała do szybko rentujących się, w ciągu 5 miesięcy,

przy założeniu wykorzystania istniejących budynków na terenie zakładu produkującego folię. Płyty mogą znaleźć zastosowanie w budownictwie mieszkaniowym do izolacji cieplnej oraz jako przegrody ścian wewnętrznych z dwustronną okładziną tapety. Uzyskane wyniki badań stanowiły podstawę do zgłoszenia dwóch patentów nr 90489 i 99123 [61, 63].

Materiały stosowane do izolacji zimnochronnych nie zaspokajają zapotrzebowania w budownictwie, przemyśle i transporcie. Dlatego też podjęto badania nad przydatnością niewymiarowych granulek styropianu i lepiszcza w postaci pasty asfalto-bentonitowej "Abel" do wytwarzania płyt [47]. Składniki te podlegają wymieszaniu po uprzednim rozcieńczeniu pasty wodą do konsystencji umożliwiającej formowanie płyt izolacyjnych. W warunkach powietrznych następuje wiązanie i utwardzenie wskutek odparowania wody. Skrócenie okresu dojrzewania uzyskuje się w warunkach obróbki termicznej, w temperaturze  $50^{\circ}\text{C}$ . Nowe tworzywo styroasfaltobentonitowe posiada gęstość objętościową  $320 \text{ kg/m}^3$  i przewodność cieplną  $0,104 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ . Jest odporne na działanie wody i niskich temperatur. Pozytywne wyniki badań posłużyły do wystąpienia o udzielenie patentu, który zarejestrowano pod nr 202314.

#### 1.11. P o s a d z k i s k ó r o l i t o w e

Nowym tworzywem do wykonywania posadzek jest skórolit, otrzymywany z mielonej skóry i spoiwa magnezowego. Przeprowadzone badania doświadczalne [5] obejmowały sprawdzenie wpływu różnych stosunków zmieszania tlenku magnezowego, chlorku magnezowego, mielonej skóry, barwnika i domieszki talku na cechy fizyczne i mechaniczne tego materiału. Przy stężeniu  $\text{MgCl } 18^{\circ}\text{Be}$  gęstość objętościowa wynosi  $1,22 \text{ g/cm}^3$ , wytrzymałość na zginanie  $5 \text{ MPa}$ , na ściskanie  $15,9 \text{ MPa}$ , skurcz  $0,13\%$ . Przy stężeniu  $20^{\circ}\text{Be}$  gęstość objętościowa wzrasta do  $1,26 \text{ g/cm}^3$ , skurcz do  $0,77\%$  i wytrzymałość na ściskanie do  $21 \text{ MPa}$ . Niewłaściwe proporcje wymienionych składników tego tworzywa wywołują odkształcenia, głównie w postaci nadmiernego skurczu, którego objawem są rysy i spękania. Na podstawie uzyskanych wyników badań wskazano na konieczność przestrzegania stosunku zmieszania tlenku magnezowego do chlorku magnezowego, jak 3:1 do 4:1 oraz tlenku magnezowego do skóry mielonej, jak 1:2 objętościowo. Niewątpliwą zaletą posadzki wykonanej ze skórolitu jest dobra izolacyjność termiczna, duża trwałość i odporność na ścieranie oraz estetyczny wygląd i łatwość utrzymania czystości.

#### 1.12. W e ł n a m i n e r a l n a

Przeprowadzone badania 2 gatunków wełny mineralnej obejmowały oznaczenia gęstości objętościowej, zawartości części nierozwłóknionych, grubość włókien, temperaturę spiekania, wilgotność, współczynnik kwasowości, zawartość siarki i współczynnik przewodności cieplnej [13]. Znaczna kruchość i łamliwość włókien wskazuje na konieczność poprawienia ich elastyczności w celu uzyskania większej sprężystości. Ustalono, że właściwym kierunkiem polepszenia właściwości wełny mineralnej jest zwiększenie zawartości  $\text{Al}_2\text{O}_3$

przy nieznacznym podwyższeniu zawartości topników. Uzyska się w ten sposób zwiększenie sprężystości włókien i obniżenie gęstości objętościowej.

## 2. Prace dyplomowe

Większość wykonanych prac dyplomowych magisterskich i inżynierskich nawiązuje do aktualnej problematyki budownictwa z zakresu utylizacji odpadów przemysłowych, nowych i unowocześnionych materiałów budowlanych oraz doskonalenia technologii betonów zwykłych, lekkich i specjalnych.

Wśród opracowanych tematów obejmujących wykorzystanie odpadów przemysłowych na uwagę zasługują prace dyplomowe dotyczące granulacji i prób spiekania kruszywa z popiołów lotnych, miksowania zaczynów cementowo-popiołowych oraz zastosowania rozdrobnionego złomu betonów komórkowych jako kruszywa betonów lekkich. Próby granulacji wykonano z domieszkami gliny i żługu posulfitowego, a spiekanie metodą dmuchu i ssania. Ocenę jakości otrzymanego kruszywa przeprowadzono przez porównanie właściwości betonów stwardniałych. Optymalna temperatura spiekania mieści się w przedziale 1100-1150°C.

Z badań doświadczalnych miksowania zaczynów cementowo-popiołowych wynika, że następuje znaczne polepszenie urabialności mieszanki betonu żupkoporytowego oraz zwiększenie wytrzymałości betonu stwardniałego do 20% w porównaniu z technologią tradycyjnego wykonania betonu.

Niewymiarowe granulki styropianu zastosowano w dwóch pracach dyplomowych:

- do formowania płyt izolacyjnych zimnochronnych z klejem pasty asfaltobentonitowej;
- do wytwarzania pustaków stropowych przy użyciu gipsu jako spoiwa.

Wyniki badań doświadczalnych potwierdziły pełną przydatność obydwu nowych tworzyw do wytwarzania wymienionych materiałów budowlanych.

Przyspieszone dojrzewanie jest przedmiotem wielu prac badawczych zmierzających do maksymalnego skrócenia obróbki termicznej i osiągnięcia w ten sposób podwyższonej efektywności produkcji budowlanej elementów prefabrykowanych. W pracy dyplomowej dotyczącej wpływu obróbki termicznej na wytrzymałość betonu żupkoporytowego o strukturze zwartej zwrócono szczególną uwagę na zjawiska fizyko-chemiczne i aktywację procesów wiązania i twardnienia ciepłych mieszanek poddanych niskociśnieniowemu naporzaniu. W ramach kolejnej pracy dotyczącej autoklawizacji wykonano prototypowy autoklaw laboratoryjny o pojemności 140 dm<sup>3</sup> i ciśnieniu roboczym 2,5 MPa, o wysokiej sprawności i niezawodności działania.

W dążeniu do zmniejszenia masy sprężonych płyt stropowych zastosowano w pracy dyplomowej beton żupkoporytowy z domieszką drutu ciętego w celu podwyższenia wymaganych cech technicznych. Z przeprowadzonych badań i analizy techniczno-ekonomicznej wynika, że koszt drutu ciętego nie rekompensuje

suje wyższych cech technicznych betonu łupkoporytowego i stąd też zastosowanie zbrojenia rozproszonego musi ograniczyć się do specjalistycznych konstrukcji.

W pracy dyplomowej dotyczącej technologii kolorowych faktur desoracyjnych przeprowadzono badania betonów zwykłych z domieszkami odpowiednich pigmentów. Wyniki badań posłużyły do opracowania wytycznych technologicznych o charakterze wdrożeniowym.

Dostosowanie odpowiedniej zaprawy tynkarskiej do rodzaju podłoża ma istotny wpływ na przyczepność, trwałość i izolacyjność termiczną. W pracy dyplomowej przeprowadzono badania "ciepłych" zapraw cementowo-wapiennych z udziałem drobnej frakcji łupkoporytu i popiołu lotnego, o właściwościach zbliżonych do materiału podłoża, jakim są betony komórkowe.

W kilku pracach dyplomowych dotyczących betonów żaroodpornych wykonano badania doświadczalne obejmujące projektowanie, kształtowanie i sprawdzanie cech technicznych oraz ustalenie wpływu czynników technologicznych formowania i poryzacji na właściwości techniczne tych betonów. Stosowano kruszywo łupkoporytowe, keramzytowe i szamotowe. Wyniki badań umożliwiają określenie zakresu zastosowań w zależności od przedziału temperatur i różnych warunków eksploatacyjnych wykładzin i warstw izolacyjnych.

### 3. Prace doktorskie

Wykonane prace doktorskie posiadają charakter teoretyczny, eksperymentalny. Problematyka tych prac dotyczy zaczynów cementowo-popiołowych, technologii betonów lekkich, żaroodpornych z kruszywem keramzytowym i smołowych z kruszywem łupkowym.

Nagromadzone w hałdach kopalnianych łupki samoczynnie przepalone stanowią wartościowy materiał wykorzystywany w budownictwie. Dotychczasowe zagospodarowanie nie wyczerpuje różnorodnych kierunków utylizacji. W pracy doktorskiej [68], która nawiązuje do wykonanej poprzednio pracy naukowo-badawczej [16], podjęto badania zmierzające do zagospodarowania wysiękcyjowanych łupków jako kruszywa betonów smołowych z zastosowaniem mikrowypełniaczy w postaci popiołów lotnych i zmieszanych drobnych frakcji łupków przepalonych, stanowiących wtórny odpad mechanicznego uszlachetnienia eksploatowanych hałd. Smołobetony znajdą zastosowanie do posadzek w pomieszczeniach gospodarczych budynków wiejskich, mieszkalnych, handlowych, magazynowych, warsztatów usługowych oraz nawierzchni parkingów, chodników, dróg i in.

Powszechnie znane i doceniane są właściwości popiołów lotnych. Spełniają one rolę mikrowypełniacza zwłaszcza w betonach lekkich, polepszają urabialność i lepkość mieszanki betonowej, a ponadto odznaczają się właściwościami pucolanowymi, dzięki którym ulega zmniejszeniu zużycie cementu. Zastosowane w badaniach niskocementowe zaczyny popiołowe potwierdziły możli-

wość efektywnego kształtowania założonej wytrzymałości, gęstości objętościowej i przewodności cieplnej [69]. Nowością tej pracy jest wprowadzenie do zaczynów cementowo-popiołowych pyłu hutniczego o powierzchni właściwej około  $24\ 000\ \text{cm}^2/\text{g}$ , powstającego przy produkcji żelazostopów. W wyniku zrealizowanych badań wyjaśniono mechanizm powstawania nowych minerałów, określono kryteria oceny przydatności popiołów lotnych na podstawie "efektu mikropyłowego" oraz przeprowadzono analizę fizyczną wpływu uziarnienia popiołów lotnych i pyłu hutniczego na fizyko-mechaniczne własności chudych zaczynów.

W dążeniu do uzyskania wymaganych cech betonów lekkich, w szczególności założonej wytrzymałości i gęstości objętościowej, stosuje się odpowiedni dobór jakości i ilości zaprawy oraz makrowypełniacza. Na podstawie przyjętego modelu struktury betonu lekkiego, składającego się z elementów charakterystycznych, którymi są ziarna makrowypełniacza otulone wyobrażalną otoczką z zaprawy o kształcie sprowadzonym do kuli oraz rozważań teoretycznych i doświadczalnych przeprowadzono analizę zależności wytrzymałości i odkształcalności jednostkowej zaprawy i makrowypełniacza [73]. Wyniki doświadczeń sprawdzone dla betonów zwartych z kruszywem keramzytowym, żupkoporytowym, pumeksowym i granulkami styropianu potwierdzają przeprowadzone rozumowanie.

Oryginalnym osiągnięciem przedstawionym w pracy doktorskiej jest przyjęty model struktury, wyprowadzona hipoteza wytrzymałościowa, warunek zwartości betonu i geometryczne określenie wymiarów szkieletu nośnego betonu.

Rozpoznane właściwości niskocementowych zaczynów popiołowych wykorzystano w kształtowaniu wytrzymałości na ściskanie betonów lekkich w granicach  $5\div 17\ \text{MPa}$ , gęstości objętościowej w przedziale  $1300\div 1500\ \text{kg/m}^3$  i przewodności cieplnej  $0,40$  do  $0,52\ \text{W/m}^\circ\text{C}$  [71]. Badania doświadczalne oraz analiza matematyczna i statystyczna umożliwiły ustalenie związków między zmiennymi parametrami doświadczenia a podstawowymi cechami technicznymi betonu i stosu okruszowego. Na tej podstawie wyprowadzono wzór na wytrzymałość betonu i na obliczenie współczynnika przewodności cieplnej. Przy rozpoznaniu stopnia zhydratyzowania cementu i warstw stykowych z popiołem lotnym i kruszywem posłużono się skaningowym mikroskopem elektronowym. Przeprowadzone badania i analiza zjawisk fizykochemicznych pozwoliły na opracowanie zasad projektowania betonów izolacyjno-konstrukcyjnych z zastosowaniem niskocementowych zaczynów popiołowych. Z analizy techniczno-ekonomicznej wynika, że zużycie cementu ulega zmniejszeniu o około 50%, gęstość objętościowa jest mniejsza o  $5\div 8\%$ , a współczynnik przewodności cieplnej o 15 do 25%.

Uzyskanie wysokich klas betonów lekkich w zastosowaniu do konstrukcji sprężonych jest trudnym zadaniem technologicznym, przede wszystkim z względu na niższą wytrzymałość kruszywa od zaczynu cementowego. W dążeniu do wyjaśnienia wpływu jakości i ilości składników oraz zachodzących procesów fizykochemicznych na cechy techniczne betonów żupkoporytowych podjęto ob-

ezerne badania doświadczalne, przy założonej gęstości objętościowej do  $1800 \text{ kg/m}^3$  i wytrzymałości 30 do 40 MPa.

W pracy doktorskiej [72] na podstawie badań i analizy kruszywa jako ciała kapilarno-porowatego i procesów dyfuzji, sedymentacji,hydratacji i krystalizacji stwierdzono cementującą rolę roztworu uwodnionych związków cementu. Jony z uwodnionego zączynu cementowego i kryształów kruszywa przenikają się wzajemnie, dzięki czemu następuje wzmocnienie struktury, przez co budowa staje się bardziej zwarta. Zaprawa szczelnie wypełnia przestrzenie międzyziarnowe i stanowi szkielet nośny, współpracujący ze słabszym kruszywem. Kształtowanie struktury lekkiego betonu o założonych cechach polega na kompozycji stosu okruchowego ziarn grubych powyżej 2 mm i wprowadzeniu odpowiedniej ilości i jakości zaprawy. Badania doświadczalne posłużyły do opracowania analizy statystycznej rozkładu prawdopodobieństwa wytrzymałości betonu, korelacji wytrzymałości i wybranych cech betonu oraz wyprowadzenia wzoru wytrzymałościowego wyrażającego zależność między  $R_D^U$  a porowatością betonu stwardniałego.

Stosowanie wypełniaczy porowatych w postaci mieszaniny różnej wielkości frakcji ogranicza kształtowanie izolacyjności termicznej betonów żaroodpornych. Jednym z kierunków zwiększenia porowatości tych betonów jest ograniczenie wymiarów ziarn do 10 mm oraz zastosowanie podciśnienia podczas formowania wyrobów prefabrykowanych.

W pracy doktorskiej [70] podjęto opisany kierunek postępowania [43,45, 48]. W wyniku zastosowanej metody poryzacji bez jakichkolwiek dodatków porotwórczych uzyskuje się betony o strukturze komórkowej z porami o wymiarach od 0,2 do 1,5 mm, wytrzymałości na ściskanie w stanie wysuszonym  $6 \pm 10 \text{ MPa}$ , a po nagraniu do temperatury  $800^\circ\text{C}$   $3 \pm 6 \text{ MPa}$ , przy gęstości objętościowej  $960 \pm 1080 \text{ kg/m}^3$ .

Badania w zakresie kształtowania struktury podciśnieniem prowadzono metodami eksperymentalnymi, instrumentalnymi i matematycznymi. W celu wyjaśnienia przemian zachodzących w zączynie i betonie zastosowano badania strukturalne derywatograficzne i rentgenograficzne przy użyciu mikroanalizatora rentgenowskiego, mikroekopu skaningowego i polaryzacyjnego. Wyniki badań posłużyły do opracowania technologii produkcji elementów prefabrykowanych z betonu keramzytowego metodą podciśnienia. Technologia ta uzyskała patent PRL nr 186 368 [62].

#### PRACE NAUKOWO-BADAWCZE OMAWIANE W TEKŚCIE

- [1] M. Baran, M. Robakowski: Proces technologiczny uszlachetniania żużła paleniskowego metodą spiekania. Kat. Kotłów i Sił, Par, Kat. Bud.Og., maszyn 71 str. 6 rys. 5 tabl. 1959.
- [2] M. Robakowski: Badanie jakości sortowanego kruszywa aglit oraz betonu wykonanego z tego kruszywa wg złożonych proporcji składników. Kat. Bud. Og. maszyn., 41 str., 3 rys, 45 tabl. 1960.

- [3] M. Robakowski: Właściwości kruszywa aglit oraz betonu z tego kruszywa. Kat. Bud. Og. maszyn., 124 str., 1961.
- [4] M. Robakowski: Zastosowanie żużla posulfitowego w wytwarzaniu betonu wodoszczelnego. Kat. Bud. Og. maszyn., 47 str., 1961.
- [5] M. Robakowski: Odkształcenia posadzki skórolitowej wraz z analizą warstw podłoża. Kat. Bud. Og. maszyn., 32 str., 29 tabl., 1961.
- [6] M. Robakowski: Technologia betonu lekkiego o wysokiej wytrzymałości na kruszywie spiekonym z żupków przywęglowych. "Knurów". Kat. Bud. Og. maszyn., 226 str., 51 tabl., 48 fot., 1963.
- [7] M. Robakowski: Badania domieszek uszczelniających beton zwykły. Kat. Bud. Og. maszyn., 27 str., 15 tabl., 1966.
- [8] W. Śmiałowski, M. Robakowski, E. Wierzbicka: Przyczyny odpadania tynków wewnętrznych w budynkach mieszkalnych wykonanych z prefabrykatów wielkoblokowych żużlobetonowych. Kat. Bud. Og., maszyn., 108 str., 13 rys., 11 tabl., 14 fot., 1966.
- [9] M. Robakowski, A. Piechaczek, J. Śmiałowski, E. Wierzbicka: Przydatność preparatów chemicznych do powlekania form stalowych i drewnianych stosowanych w budownictwie i przemyśle materiałów budowlanych. Kat. Bud. Og. maszyn., 114 str., 11 rys., 31 fot., 66 tabl., 1967.
- [10] M. Robakowski, B. Bethge: Ocena przydatności zapraw cementowo-wapiennych w mechanicznym tynkowaniu elewacji. Kat. Bud. Og. maszyn., 22 str., 9 tabl., 1970.
- [11] M. Robakowski, B. Bethge: Przydatność materiału hałdowego Kopalni "Rokitnica" w budownictwie. Kat. Bud. Og. maszyn., 25 str., 1970.
- [12] M. Robakowski, M. Dyczkowski, J. Kmiec: Badania bloków kominowych dymowych. Inst. TIOB, maszyn., 48 str., 25 tabl., 7 rys., 1971.
- [13] M. Robakowski, B. Bethge: Badania jakości wełny mineralnej. Inst. TIOB maszyn., 9 str., 6 tabl., 1971.
- [14] M. Robakowski, E. Iwańska: Ocena trwałości impregnowanych płyt trzcinowych w warunkach wilgotnościowych. Inst. TIOB. maszyn., 22 str., 4 tabl., 4 rys., 1972.
- [15] M. Robakowski, M. Dyczkowski, J. Kmiec: Zastosowanie odpadów z kamienia z robót przygotowawczych dla celów drogowych i kolejowych. Inst. TIOB maszyn., 1971-74.
- Część I - Badania rozpoznawcze piaskowców pobranych z różnych kopalń, 69 str., 76 tabl., 1972.
- Część II - Badania szczegółowe materiałów kamiennych z 5 kopalń wraz z oceną ich przydatności. 104 str., 7 rys., 97 tabl., 1973.
- Część III - Opracowanie schematów technologicznych mechanicznej przeróbki materiałów kamiennych. 21 str., 2 rys., 4 tabl., 1973.



Część IV - Opracowanie schematów technologicznych mechanicznej przeróbki materiałów kamiennych - uzupełnienie. 20 str., 4 rys., 5 tabl., 1974.

- [16] Oprac. pod kier. M. Robakowskiego. Współautorzy: Cz. Lewinowski, M. Dyczkowski, J. Kmieć, M. Miciński, E. Olszewski, M. Związek, E. Grohman: Zastosowanie żupków przepalonych w budownictwie drogowym. Inst. TiOB maszyn., 1971-75.

Część wstępna - Analiza techniczno-ekonomiczna stosowania żupków przepalonych i surowych w budownictwie. 87 str., 20 tabl., 6 rys., 1971.

Część I - Rozpoznanie ilościowe i jakościowe wybranych hańd żupka przepalonego oraz wstępne badania laboratoryjne. 36 str., 13 tabl., 1972.

Część II - Szczegółowe badania kruszywa z żupków przepalonych, projektowanie mieszanek bitumicznych i nawierzchni drogowych. 103 str., 47 tabl., 1973.

Część III - Projektowanie i badania mas bitumicznych. Wykonanie odcinków próbnych w terenie. Wytyczne w zakresie projektowania, realizacji i rozruchu polowego węzła krusząco-sortującego. 115 str., 50 tabl., 18 rys., 1974.

Część IV - Wytyczne w zakresie projektowania, realizacji i rozruchu polowego węzła krusząco-sortującego oraz technologii wykonawstwa nawierzchni drogowych. 45 str., 9 tabl., 24 rys., 1975.

- [17] M. Robakowski, M. Dyczkowski: Opracowanie technologii wytwarzania izolacyjnych płyt budowlanych z odpadów folii Al podklejonej tworzywami sztucznymi. Inst. TiOB maszyn., 1973-76.

Część I - Badania rozpoznawcze odpadów folii. 54 str., 7 rys., 40 tabl., 1974.

Część II - Doskonalenie technologii wytwarzania płyt w oparciu o wstępną ocenę jakościową. 38 str., 3 rys., 21 tabl., 1974.

Część III - Schematy technologii wytwarzania płyt w oparciu o wstępną ocenę jakościową. 21 str., 2 rys., 7 tabl., 1974.

Część IV - Schemat technologiczny wytwarzania płyt izolacyjnych z odpadów folii aluminiowej laminowanej tworzywami sztucznymi. Dwie alternatywy. 34 str., 1975 i 1976.

- [18] R. Maciejńczyk, M. Robakowski: Technologia wykonywania wykładzin z betonów żaroodpornych w kominach elektrowni ciepłych metodą desekwań żelazowych i przesławnych. Inst. TiOB maszyn. 47 str., 20 rys., 22 tabl., 1976.

- [19] M. Robakowski, M. Dyczkowski: Opracowanie technologii betonu dla robót żelazowych. Inst. TiOB. Maszyn. 1975-1976.

- Część I - Badanie składników mieszanki betonowej i projektowanie składu betonu. 64 str., 15 rys., 46 tabl., 1975.
- Część II - Parametry technologiczne robót betonowych wykonywanych metodą deskowań ślizgowych. 78 str., 54 tabl., 62 rys., 1976.
- [20] M. Robakowski: Badania nad wybranymi zagadnieniami technologii betonu konstrukcji estakad. Inst. TiOB. maszyn., część I i II, 101 str., 19 tabl., 22 rys., 1975-76.
- [21] M. Robakowski, R. Maciejończyk: Technologia wytwarzania i układania betonu w temperaturach obniżonych dla metody ślizgowej i przestawnej z zastosowaniem środków chemicznych. Inst. TiOB maszyn. 83 str., 6 rys., 2 fot., 1977.
- [22] M. Robakowski: Badania technologiczne nad doskonaleniem produkcji elementów prefabrykowanych z betonu żupkoporytowego Inst. TiOB maszyn.
- Część I - Rozpoznanie i analiza dotychczasowych wyników prac badawczych i zastosowań betonów żupkoporytowych w budownictwie ogólnym ze szczególnym uwzględnieniem elementów prefabrykacji betonowych. 98 str., 29 tabl., 13 rys., 1977.
- Część II - Sprawdzenie wpływu wybranych parametrów technologicznych na cechy techniczne betonu żupkoporytowego. Inst. TiOB maszyn. 72 str., 18 tabl., 16 rys., 1978.
- Część III - Prace badawczo-wdrożeniowe w zakresie wprowadzenia betonu żupkoporytowego do produkcji elementów budowlanych. Inst. TiOB maszyn. 121 str., tabl., rys., 1979.
- [23] M. Robakowski, N. Byczkowski: Zastosowanie techniki mikrofalowej w procesie przyspieszonego dojrzewania betonów. Inst. TiOB, maszyn. 116 str., 14 tabl., 44 rys., 1977.
- [24] M. Robakowski, R. Maciejończyk: Technologia otrzymywania żaroodpornego betonu izolacyjnego na kruszywie keramzytowym do produkcji elementów prefabrykowanych. maszyn. 58 str., 7 tabl., 7 rys., 1973.
- [25] R. Maciejończyk, M. Robakowski: Opracowanie metod nieniszczącej kontroli wytrzymałości betonu żaroodpornego dla warunków budowy przy zastosowaniu młotka Schmidta. Inst. TiOB maszyn. 101 str., 38 tabl., 6 rys., 1978.

P r a c e   p u b l i k o w a n e

- [26] M. Robakowski: Właściwości techniczne kruszywa Aglite oraz betonu z tego kruszywa. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Gliwice 1962.
- [27] M. Robakowski: Betony lekkie wysokich marek z kruszywa "Knurów" Biuletyn ITB, Problemy budownictwa z betonów lekkich z kruszyw sztucznych, Warszawa 1963.

- [28] M. Robakowski: Niektóre zagadnienia technologii betonów lekkich wysokich marek na kruszywie agloporytowym z żupków przywęglowych - praca doktorska. Pol. Śl. Gliwice 1965.
- [29] M. Robakowski: Betony lekkie w zastosowaniu do konstrukcji sprężonych. Fundamenty nr 36/1966.
- [30] M. Robakowski: Fizykochemiczne podstawy przemian zachodzących pomiędzy składnikami betonu lekkiego na kruszywie agloporytowym z żupków przywęglowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Budownictwo" z. 21, 1967.
- [31] M. Robakowski: Oleiste środki przeciwprzyczepne do powlekania form i deskowań. XIV Konferencja Naukowa Kom. Inżynierii PAN i Kom. Nauki PZITB, Referaty i komunikaty tom III, Warszawa 1968, Krynica.
- [32] M. Robakowski: Zastosowanie żupkoporytowego kruszywa do produkcji elementów prefabrykowanych - Przegląd Budowlany Nr 4/1969.
- [33] M. Robakowski: Odkształcenia wapiennych tynków wewnętrznych na podłożu żużlobetonowym. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Budownictwo" z. 25/1969.
- [34] R. Maciejończyk: Odporność betonu żupkoporytowego na działanie podwyższonych temperatur. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Budownictwo" z. 30/1972.
- [35] M. Robakowski, J. Kmiec: Prefabrykowane bloki kominowe na kruszywie z przepalonych żupków przywęglowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Budownictwo" z. 30/1972.
- [36] W. Król, T. Hop, J. Mames, J. Mikoś, M. Robakowski: Techniczne i ekonomiczne aspekty stosowania kruszyw lekkich w budownictwie. Katowice Wydawnictwo Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przem. Mat. Bud. 1972.
- [37] L. Rowiński, M. Robakowski, J. Mames, W. Starosolecki, Z. Sulimowski: Właściwe techniczne kierunki stosowania żupkoporytu. Wydawnictwo Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przem. Mat. Bud. Katowice 1972.
- [38] R. Maciejończyk, A. Sobolewska: Wpływ obróbki termicznej na własności żaroodpornego betonu izolacyjnego na bazie keramzytu i cementu portlandzkiego. Materiały Ogniotrwałe nr 3, 1974.
- [39] M. Robakowski: Utylizacja odpadowych surowców mineralnych przemysłu węgla kamiennego w budownictwie. Wydawnictwo Państwowej Rady Gospodarki Materiałowej, Sopot 1975.
- [40] M. Robakowski, J. Kmiec: Betony bitumiczne z kruszywa żupkowego. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Budownictwo" z. 42, Gliwice 1976.
- [41] M. Robakowski, R. Maciejończyk: Żaroodporne izolacyjne betony keramzytowe. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Budownictwo" z. 42, Gliwice 1976.
- [42] M. Robakowski, M. Dyczkowska: Płyty izolacyjne z odpadów folii aluminiowej. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Budownictwo" z. 42, Gliwice 1976.

- [43] R. Maciejończyk: Dobór parametrów masy betonowej w kształtowaniu struktury żaroodpornych betonów keramzytowych metodą podciśnienia. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Budownictwo" z. 42, 1976.
- [44] M. Robakowski: Współdziałanie betonu bazaltowego i żupkoporytowego wysokich wytrzymałości. XXIII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica 1977, tom IV.
- [45] R. Maciejończyk: Betony keramzytowe poryzowane metodą podciśnienia. XXIII Konferencja Naukowa Kom. Inż. Ląd. i Wodnej PAN i Kom. Nauki PZITB, Krynica 1977, tom IV.
- [46] M. Robakowski, M. Dyczkowski: Wykorzystanie odpadów folii aluminiowej podklejonej papierem i polietylenu do produkcji płyt budowlanych. Wydawnictwo Urzędu Gospodarki Materiałowej i Stowarzyszenia Inż. i Techn. Przem. Mat. Bud. Celniewo 1977.
- [47] M. Robakowski: Tworzywo styroasfaltobentonitowe w zastosowaniu do izolacji zimochronnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Chemia" z. 83, Gliwice 1978.
- [48] R. Maciejończyk: Wpływ technologii wytwarzania na własności żaroodpornych betonów izolacyjnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Chemia" z. 83, 1978.
- [49] M. Robakowski: Ocena jakości kruszywa żupkoporytowego. Inżynieria i Budownictwo nr 10, 1978.
- [50] M. Robakowski, M. Dyczkowski: Przyspieszone dojrzewanie betonu w polu mikrofalowym. Przegląd Budowlany nr 3, 1979.
- [51] M. Robakowski: Przeliczenia korekcyjne stosu okruszowego kruszyw lekkich. Przegl. Budowl. nr 6, 1979.
- [52] H. Krause: Wpływ uziarnienia lotnych popiołów energetycznych na podstawie właściwości zaczynów cementowo-popiołowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Budownictwo" z. 30, 1972.
- [53] E. Pichocki: Popiół lotny hutniczy jako nowy dodatek do betonu. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. "Budownictwo" z. 30, 1972.
- [54] H. Krause, E. Pichocki: Pucolanowe własności hutniczego popiołu lotnego. Cement, Wapno, Gips nr 3, 1973.
- [55] H. Krause, E. Pichocki: Uszlachetnienie popiołów lotnych. Cement, Wapno, Gips. nr 1, 1974.
- [56] H. Krause, E. Pichocki: Chude zaczyny cementowo-popiołowe drogą poprawy niektórych własności betonów żupkoporytowych. XX Jub.Konf.Nauk. PAN i PZITB, Krynica 1974.
- [57] H. Krause, E. Pichocki: Hutniczy popiół lotny środkiem do zaoszczędzenia 40% cementu w lekkich betonach kruszywowych. Państw.Rada Gosp. Mat. SIITB, Warszawa Sympozjum, Sopot 1975.

- [58] H. Krause, E. Pichocki: Uszlachetnione popioły lotne do betonów lekkich. Cement, Wapno, Gips nr 8-9, 1975.
- [59] H. Krause, E. Pichocki: Hutniczy popiół lotny jako substytut cementu w betonie-z lekkich kruszyw sztucznych, Przegląd Budowlany nr 4, 1978.

## P a t e n t y

- [60] M. Robakowski, B. Bethge: Świadcstwo autorskie o dokonaniu wynalazku Patent PRL Nr 79933 z dnia 17.XII.1976 r. Urządzenie do wytwarzania spęcznionych lekkich kruszyw.
- [61] M. Robakowski, M. Dyczkowski, B. Grohmann, świadectwo autorskie Nr 99 123 z dnia 08.01.1979 r. Układ urządzeń do wytwarzania płyt budowlanych, zwłaszcza z odpadów folii aluminiowej.
- [62] J. Mikoś, M. Robakowski, R. Maciejończyk: Patent tymczasowy Nr 186 368 z dnia 6.I.1976 r. Sposób wytwarzania porowatych wyrobów szczególnie prefabrykatów z zaczynów, zapraw i betonów.
- [63] M. Robakowski, M. Dyczkowski: Świadcstwo autorskie o dokonanym wynalazku. Patent PRL Nr 90489 z dnia 6.III.1978 r. Sposób wytwarzania płyt budowlanych.
- [64] M. Robakowski, J. Kmieć: Patent tymczasowy z dnia 19.VII.1977 r. Nr 199776. Sposób mechanicznej przeróbki przepalonych łupków przywęglowych.
- [65] M. Robakowski, J. Kmieć: Patent tymczasowy z dnia 11.X.1977 r. Nr 199777. Bitumiczne betony i masy lane z hałdowego kruszywa łupkowego.
- [66] M. Robakowski: Patent tymczasowy z dnia 21.XI.1977 r. Nr 202314. Sposób wytwarzania wyrobów izolacyjnych z lepiaszczem bitumicznym.
- [67] H. Krause, E. Pichocki: Patent tymczasowy 74575 z dnia 30.V.1973 r. Sposób wytwarzania zapraw i betonów z cementu, kruszywa i popiołów lotnych.

## P r a c e   d o k t o r s k i e

- [68] J. Kmieć: Kształtowanie cech technicznych betonów smołowych z łupków samoczynnie przepalonych. Praca w toku.
- [69] H. Krause: Wpływ hutniczego popiołu lotnego na własności chudych zaczynów cementowo-popiołowych. Pol. Śl., Gliwice 1974.
- [70] R. Maciejończyk: Kształtowanie struktury żaroodpornych betonów na kruszywie keramzytowym metodą podciśnienia. Pol. Śl., Gliwice 1975.
- [71] E. Pichocki: Kształtowanie podetawowych własności zwartych izolacyjno-konstrukcyjnych betonów łupkoporytowych metodą chudego zaczynu cementowo-popiołowego. Pol. Śl., Gliwice 1974.

- [72] M. Robakowski: Niektóre zagadnienia technologii betonów lekkich wysokich marek na kruszywie agloporytowym z żupków przywęglowych. Pol. Śl., Gliwice 1965.
- [73] W. Zarębski: Badanie wpływu niektórych własności wypełniaczy i zapraw na cechy wytrzymałościowe betonu lekkiego w oparciu o model jego struktury. Pol. Śl., Gliwice 1969.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Р е з ю м е

Осуществлённые научно-исследовательские работы содержат распознавание свойств промышленных отходов в горном деле, в металлургической промышленности и в энергетике. Особое внимание обращено на разработку конкретных технологических решений использования отходов для производства строительных материалов и элементов. Полученные технические и экономические эффекты являются основой для промышленного использования результатов исследовательских работ.

RESEARCH WORKS IN THE RANGE OF UTILISATION OF INDUSTRIAL WASTES  
AND TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS

S u m m a r y

The scientific research work includes the analysis of the properties of industrial waste in mining, steelmaking and power industries. Special attention was given to developing specific technologies of utilizing the wastes in the production of building materials and elements. The obtained technical (economic effects are the backbone of industrial application of the experimental results.