



**POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA  
KATEDRA GEOTECHNIKI I DRÓG**



---

Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport

**Mgr inż. Konrad WALOTEK**

Rozprawa doktorska

**BADANIA I ANALIZY  
MIESZANEK DROGOWYCH ZAWIERAJĄCYCH  
WYBRANE ODPADY ANTROPOGENICZNE**

Promotor:

**Prof. dr hab. inż. Joanna BZÓWKA**

Promotor pomocniczy:

**Dr inż. Adrian CIOŁCZYK**

Gliwice 2022

## Streszczenie

Sektor budowlany wykazuje bardzo duże zapotrzebowanie na surowce naturalne, głównie na kruszywa oraz spoiwa mineralne. Źródła tych surowców są ograniczone, co w połączeniu z ich znacznym wykorzystaniem powoduje szybkie zmniejszanie się ich zapasów. Tworzy to potrzebę wykorzystania surowców, pochodzących z innych źródeł ale spełniających podstawowe wymagania. W myśl idei gospodarki o obiegu zamkniętym, najlepsze do tego celu byłyby surowce pochodzące z recyklingu lub odpady powstające w wyniku procesów przemysłowych. Takie podejście do tematyki gospodarki surowcami naturalnymi, recyklingu oraz wykorzystania odpadów może pozwolić na zabezpieczenie rezerw złóż surowców naturalnych oraz poprawienie równowagi ekologicznej świata. Na tej podstawie zaproponowano mieszankę związaną spoiwem mineralnym składającą się z 3 odpadów przemysłowych: łupka przywęglowego nieprzepsalonego, rozdrobnionych odpadów gumowych oraz popiołu lotnego.

Zagospodarowanie odpadów gumowych, pochodzących głównie z przemysłu motoryzacyjnego jest problemem o skali światowej. Szacuje się, że rocznie przybywa około 1 mld zużytych opon samochodowych na świecie. Odpady gumowe nie wykazują agresywnego wpływu na środowisko naturalne, jednak ze względu na swoją łatwopalność, ich składowiska mogą być niebezpieczne. Ze względu na charakterystykę nieodwracalnych procesów chemicznych zachodzących w wulkanizatach, recykling surowcowy odpadów gumowych jest bardzo skomplikowany oraz kosztowny. Stąd najczęściej obieranymi drogami zmniejszania ilości tych odpadów na składowiskach jest recykling energetyczny, produktowy i materiałowy.

Łupki przywęglowe nieprzepsalone to odpady górnicze, towarzyszące wydobyciu węgla kamiennego. Ich zagospodarowanie jest problemem lokalnym występującym głównie w Zagłębiu Górnośląskim. Szacuje się, iż rokrocznie przybywa około 37 mln ton tego odpadu. Faktem jest, iż aktualne działania towarzyszące próbom odejścia od energetyki węglowej będą powodowały stałe zmniejszanie się rocznego przyrostu tego odpadu, jednak należy ciągle pamiętać o bardzo dużych jego ilościach zalegających na istniejących hałdach.

Popioły lotne są odpadem powstałym w wyniku produkcji energii elektrycznej z paliw kopalnych. W budownictwie już od dłuższego czasu są one wykorzystywane jako substytut spoiw mineralnych lub jako dodatek poprawiający urabialność oraz przebieg reakcji pucolanowych mieszanek betonowych. Mieszanka składająca się z tych 3 odpadów, związana spoiwem jakim jest cement CEM I może być wykorzystana w budownictwie komunikacyjnym, jako materiał konstrukcyjny lub do wzmocnienia podłoża gruntowego. Jej zastosowanie pozwoli na utylizację znacznych ilości odpadów. W pracy przedstawiono analizę badań

laboratoryjnych parametrów fizyko–mechanicznych mieszanek ŁGPC, których nazwa wzięła się od pierwszych liter jej składników.

Przedstawienie wyników badań oraz ich analiza została poprzedzona przeglądem literaturowym, w którym przedstawiono charakterystykę i rozpoznanie właściwości fizyko–mechanicznych każdego ze składników oraz wpływ odpadów gumowych na mieszanki związane spoiwem. Ze względu na lokalny charakter problematyki zagospodarowania odpadów powęglowych, przegląd literatury dotyczący wpływu odpadów gumowych na mieszanki związane spoiwem odnosi się głównie do ich zastosowania w mieszankach betonowych.

Badania właściwości fizyko–mechanicznych wykonano w dwóch etapach. Przeprowadzono badania mieszanek o bardzo zbliżonym zakresie, w których zastosowano niezmienną zawartość popiołów lotnych i cementu oraz dodatki 5%, 10% i 15% rozdrobnionych odpadów gumowych w stosunku do masy łupka przywęglowego nieprzepsanego. Zakres przeprowadzonych badań obejmował kontrolę nasiąkliwości masowej oraz wysokości podciągania kapilarnego wody, testy wytrzymałościowe po 7 i 28 dniach pielęgnacji próbek oraz badanie w warunkach obciążenia cyklicznego. W etapie 1 do sporządzenia mieszanek wykorzystano łupek przywęglowy nieprzepsany o uziarnieniu 0/31,5 mm pochodzący z Bielska-Białej (nr 1), zaś w etapie 2 łupek przywęglowy nieprzepsany odwęglony o uziarnieniu 0/31,5 produkowany w Zakładzie Haldex. Zastosowanie dwóch łupków przywęglowych pochodzących z różnych miejsc umożliwiło sprawdzenie czy zaproponowana mieszanka będzie prezentować zbliżone właściwości niezależnie od cech bazowego budulca. W badaniu obciążenia cyklicznego zawartym w etapie 2 wykorzystano system pomiarowy DIC ARAMIS 3D w celu określenia odkształcalności mieszanek pod wpływem obciążenia. Przedstawione wyniki badań pozwoliły określić wpływ zastosowania odpadów gumowych na ograniczenie wielkości nasiąkliwości masowej oraz wysokości podciągania kapilarnego wody, w mieszance jak również wpływ na zmniejszanie się wartości wytrzymałości na ściskanie oraz powiększenie odkształcalności badanych mieszanek. Wyniki obciążenia cyklicznego wskazały, że dodatki rozdrobnionych odpadów gumowych poprawiają trwałość zmęczeniową mieszanki, poprzez zmniejszenie redukcji wartości modułu sprężystości spowodowanej cyklicznym obciążeniem próbek. Uzyskane wyniki badań dla dwóch różnych łupków przywęglowych nieprzepsanych potwierdziły skuteczność stosowania w mieszankach ŁGPC.