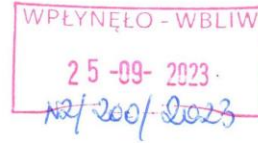


Zielona Góra, 18 września 2023r.

dr hab. inż. Jacek Korentz, prof. uczelni
Uniwersytet Zielonogórski
Instytut Budownictwa
65-417 Zielona Góra, ul. Licealna 9
e-mail: j.korentz@ib.uz.zgora.pl



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Adriana Chajec
pt. „Wpływ odpadowej mączki granitowej i krzemionkowego popiołu lotnego
na wybrane właściwości kompozytów cementowych”

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została opracowana na prośbę Pana prof. dr hab. inż. Wojciecha Puła Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Wrocławskiej zawartą w piśmie nr W2/908/2023 z dnia 14 lipca 2023r. Podstawę formalną recenzji stanowi Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport nr 356/59/RDND06.2021-2014 z dnia 12 lipca 2023r. o powołaniu mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr inż. Adriana Chajec z Politechniki Wrocławskiej.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Adriana Chajec pt. „Wpływ odpadowej mączki granitowej i krzemionkowego popiołu lotnego na wybrane właściwości kompozytów cementowych”. Pracę przygotowano na Politechnice Wrocławskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Łukasza Sadowskiego, profesora uczelni, pełniącego funkcję promotora oraz dr inż. Magdaleny Piechówki - Mielnik pełniącej funkcję promotora pomocniczego.

3. Układ i treść rozprawy

Opiniowana rozprawa liczy 220 stron maszynopisu łącznie ze spisem treści, streszczeniem w języku polskim i w języku angielskim, wykazem ważniejszych oznaczeń i definicji stosowanych w rozprawie oraz bibliografią.

Rozprawa jest podzielona na siedem rozdziałów.

Rozdział pierwszy wraz z uzasadnieniem podjęcia tematu zawiera wprowadzenie w problematykę rozprawy, którą jest próba zastąpienia cementu w zaczynach cementowych, a przede wszystkim w zaprawach cementowych odpadami i produktami ubocznymi, którymi są mączka granitowa i krzemionkowy popiół lotny w sposób powodujący poprawienie ich właściwości mechanicznych i fizycznych. Zwrócono także uwagę na znaczenie działań proekologicznych związanych ze zrównoważonym rozwojem i obniżeniem emisji dwutlenku węgla, a także na aspekty techniczne i ekonomiczne związane z produkcją kompozytów cementowych.

W rozdziale drugim zdefiniowane cele i zakres rozprawy. Celem naukowym rozprawy jest ocena wpływu odpadowej mączki granitowej i krzemionkowego popiołu lotnego na wybrane właściwości mieszanek i kompozytów cementowych. Celem aplikacyjnym rozprawy jest wyselekcjonowanie takiej ilości jednoczesnego dodatku mączki granitowej i popiołu lotnego, dla których będzie zauważalna poprawa właściwości kompozytów cementowych. Zakres rozprawy obejmuje: przegląd dotychczasowego stanu wiedzy, badania właściwości materiałów zastosowanych w badaniach, badania mieszanek cementowych, badania zaczynów cementowych, badania zapraw cementowych, analizy wytrzymałościowo - kosztowe oraz wytrzymałościowo - ekonomiczne, a także podsumowanie z wnioskami naukowymi i praktycznymi oraz wskazanie kierunków dalszych badań.

Rozdział trzeci będący bardzo obszernym przeglądem literatury zawiera opis aktualnego stanu wiedzy dotyczącego właściwości mączki granitowej i popiołu lotnego oraz wpływu ich dodatku na właściwości mieszanek cementowych i kompozytów cementowych, efektem czego było wskazanie kierunku badań w rozprawie doktorskiej.

Rozdział czwarty jest opisem zaplanowanych i przeprowadzonych badań doświadczalnych. Przedstawiono w nim program badań eksperymentalnych, wskazano założenia prowadzonych badań, zastosowane materiały i opisano metodykę badań właściwości mieszanek cementowych i kompozytów cementowych, podając również podstawy ich przeprowadzenia.

W rozdziale piątym zamieszczone są uzyskane wyniki badań wraz z ich analizą. Przedstawiono wyniki zaprogramowanych badań wpływu dodatku mączki granitowej i popiołu lotnego oraz ich jednoczesnego dodatku na właściwości mieszanki cementowej oraz właściwości zaczynów cementowych i zapraw cementowych. Omówiono także wpływ różnych sposobów pielęgnacji próbek na uzyskane wyniki badań.

Rozdział szósty stanowi opis wdrożenia z sukcesem w praktyce budowlanej uzyskanych wyników badań. Wykonano cementową warstwę wierzchnią podłogi modyfikowanej jednocześnie dodatkiem popiołu lotnego i odpadowej mączki granitowej garażu podziemnego w budynku mieszkalnym.

Rozdział siódmy jest podsumowaniem rozprawy. Zawiera także wnioski i uwagi końcowe z przeprowadzonych badań i analiz oraz kierunki dalszych badań związanych z tematyką rozprawy doktorskiej.

Zamieszczona w rozprawie bibliografia zawiera 192 + 8 pozycji, w tym osiem pozycji autorских i współautorskich Doktoranta.

Struktura rozprawy doktorskiej jest poprawna. Układ, kolejność i zakres poszczególnych części rozprawy są odpowiednie. Przedstawiono stan zagadnienia z uzasadnieniem podjęcia tematu pracy i na tej podstawie określono cel i zakres pracy. Następnie opisano metodykę planowanych badań doświadczalnych, przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań i ich analizę. Rozprawa kończy się posumowaniem z wnioskami i opisem efektów oraz możliwości zastosowania wyników badań.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

4.1. Ocena doboru tematyki rozprawy

Pan mgr inż. Adrian Chajec w rozprawie doktorskiej podjął bardzo aktualny temat dotyczący problematyki wykonywania kompozytów cementowych z uwzględnieniem uwarunkowań

wynikających z ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju, do których można między innymi zaliczyć ograniczone pokłady surowców naturalnych do produkcji cementu, zagospodarowanie odpadów i produktów ubocznych oraz emisję dwutlenku węgla. Są to czynniki powodujące poszukiwania alternatywnych materiałów, które pozwolą zastąpić część zużywanego cementu, a także kruszyw w kompozytach cementowych w sposób nie pogarszający ich właściwości. Z tego względu wybór tej tematyki jest właściwy i celowy. Prace badawcze z tego zakresu mają duże znaczenie społeczno - gospodarcze.

W rozprawie skoncentrowano się na zastąpieniu cementu jednoczesnym dodatkiem krzemionkowego popiołu lotnego i odpadowej mączki granitowej w kompozytach cementowych stosowanych w warstwach wierzchnich podłóg głównie wykonywanych na gruncie w budynkach o różnym przeznaczeniu. Rozważany problem badawczy jest ogólnie znany, ale nie do końca rozwiązany i nadal jest istotny; praca wypełnia luki w badaniach i stanowi próbę optymalizacji składu mieszanek cementowych modyfikowanych tymi dodatkami. Oceniam podjęty w pracy doktorskiej temat jako bardzo istotny do rozważań naukowych, a uzyskane wyniki badań uważam jako użyteczne w praktyce budowlanej.

4.2. Ocena celu pracy, metod badawczych i uzyskanych wyników Ocena pracy

Celem rozprawy jest ocena wpływu dodatku mączki granitowej i popiołu lotnego na wybrane właściwości fizyczne mieszanek cementowych i właściwości fizyczne i mechaniczne stwardniałych kompozytów cementowych. Doktorant wskazał również cel aplikacyjny rozprawy, którym jest *„... wyselekcjonowanie na drodze badawczej takiej ilości jednoczesnego dodatku mączki granitowej i krzemionkowego popiołu lotnego dla której zauważalna będzie poprawa podstawowych właściwości kompozytów cementowych, co posłuży do wskazania najbardziej optymalnych kompozycji materiałowych pod względem kosztu ich wytworzenia, ich właściwości mechanicznych oraz związanej z nimi emisyjności dwutlenku węgla”, a także „... określenie wpływu różnych warunków przechowywania kompozytów cementowych na ich właściwości”*. Natomiast zakres rozprawy obejmował: krytyczny przegląd literatury przedmiotu, analizy i badania właściwości zastosowanych materiałów, badania właściwości mieszanek cementowych, badania zaczynów cementowych, badania zapraw cementowych, analizy wytrzymałościowo - kosztowe i wytrzymałościowo - ekonomiczne.

Realizacja celów badawczego wymagała od Doktoranta przeglądu aktualnego stanu wiedzy i dostępnych wyników badań. Doktorant dokonał bardzo obszernego przeglądu literatury przedmiotu. Bazował na najnowszych publikacjach z ostatnich lat. W ocenie wpływu popiołu lotnego i mączki granitowej na właściwości mieszanek i kompozytów cementowych zaproponował i zastosował oryginalną metodę ilościowej analizy dostępnych wyników badań, polegającą na porównywaniu tylko skrajnych wyników. Pozwoliło to na ocenę licznych wyników dostępnych badań dla bardzo zróżnicowanych kompozycji materiałowych mieszanek cementowych.

W przeglądzie literatury zamieszczono także podstawowe informacje techniczne i technologiczne o cementowych warstwach wierzchnich podłogi, które wymagają odpowiednio zaprojektowanego składu mieszanki, tak aby uzyskać jej wymaganą konsystencję, czas wiązania, gęstość, urabialność i najlepsze właściwości mechaniczne posadzki, efektem czego będzie jej odpowiednia trwałość a tym samym bezawaryjne użytkowanie.

W podsumowaniu rozpoznania literaturowego zostały wskazane aktualne luki badawcze w badaniach wpływu popiołu lotnego i mączki granitowej na właściwości fizyczne i

mechaniczne mieszanek i kompozytów cementowych, które to Doktorant postanowił uzupełnić wynikami badań własnych przeprowadzonych w ramach rozprawy.

Na podstawie analizy dotychczasowego stanu wiedzy Doktorant ustalił, że wpływ dodatku mączki granitowej na mieszankę i kompozyty cementowe nie do końca jest pozytywny, prowadzi między innymi do zmiany konsystencji na bardziej gęstą. Natomiast dodatek popiołu lotnego jest zdecydowanie pozytywny; powoduje zwiększenie płynności mieszanki i wzrost wytrzymałości kompozytu. Dlatego Doktorant proponuje jednoczesny dodatek popiołu lotnego i mączki granitowej w celu zastąpienia części cementu w kompozytach cementowych, co pozwoli wykorzystać znane pozytywne aspekty stosowania popiołu lotnego, niwelując negatywny wpływ mączki granitowej na niektóre właściwości tych kompozytów. Mączka granitowa może pozwolić na zwiększenie gęstości upakowania, co poprawi właściwości mechaniczne i trwałość kompozytu cementowego.

Program i zakres badań rozprawy doktorskiej są bardzo obszerne. Doktorant przeprowadził badania wstępne, w których określił właściwości materiałów wykorzystanych w badaniach tj. cementu, popiołu lotnego, mączki granitowej i kruszywa. Pozostałe badania wykonano dla zaczynów i zapraw cementowych modyfikowanych dodatkiem popiołu lotnego, mączki granitowej oraz ich jednoczesnego dodatku w celu zdefiniowania wpływu tych dodatków na podstawowe właściwości kompozytów cementowych stosowanych w cementowych warstwach wierzchnich w podłogach.

W badaniach właściwości zastosowanych materiałów określono: krzywą uziarnienia, gęstość nasypową, skład chemiczny, powierzchnię właściwą ziaren i właściwości morfologiczne ziaren. W badaniach właściwości mieszanek cementowych określono ich: konsystencję, wodorządność, gęstość objętościową, początek i koniec czasu wiązania, odsączenie wody i gęstość upakowania składników. Badania zaczynów i zapraw cementowych obejmowały określenie ich: gęstości objętościowej, porowatości objętościowej, nasiąkliwości masowej, wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu, odporności na ścieranie, przyczepności przy odrywaniu i jednorodności. Badania właściwości kompozytów cementowych przeprowadzono dla próbek przechowywanych w różnych warunkach wilgotnościowych. Ponadto na podstawie uzyskanych wyników i dodatkowych danych wykonano analizę ekonomiczną - mechaniczną i analizę ekologiczno - mechaniczną badanych kompozytów cementowych.

Uzyskane wyniki badań zostały zweryfikowane w praktyce budowlanej. W garażu budynku mieszkalnego wykonano fragment posadzki cementowej, w którym zastosowano optymalny dodatek popiołu lotnego i mączki granitowej. Właściwości mechaniczne; wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie, oraz właściwości fizyczne; gęstość objętościowa i jednorodność betonu modyfikowanego dodatkiem popiołu lotnego i mączki granitowej okazały się lepsze niż betonu referencyjnego, z którego wykonano pozostałą część posadzki. W ten sposób Doktorant potwierdził skuteczność zastosowanego rozwiązania nie tylko w warunkach laboratoryjnych, ale także w praktyce na konkretnym obiekcie budowlanym.

Wykonanie badań wymagało od Doktoranta obszernej wiedzy z zakresu metodologii i metodyki prowadzenia badań doświadczalnych, a także znajomości zaawansowanych technik badawczych i umiejętności wykorzystania specjalistycznej aparatury, szczególnie w badaniach składu chemicznego i morfologii ziaren.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań Doktorant sformułował następujące wnioski: (1) jednoczesny dodatek popiołu lotnego i mączki granitowej może pozwolić na zastąpienie nawet 30% cementu w odpowiednio zaprojektowanym kompozycie cementowym, (2)

jednoczesny dodatek popiołu lotnego i mączki granitowej pozwala zniwelować wpływ zmniejszenia ilości cementu na właściwości mieszanki cementowej, (3) wykorzystanie jednoczesnego dodatku popiołu lotnego i mączki granitowej może pozwolić na uzyskanie lepszych właściwości mieszanki cementowej, (4) właściwości mieszanki cementowej są ściśle związane z właściwościami morfologicznymi ziaren i krzywą uziarnienia zastosowanych materiałów, (5) właściwości wytrzymałościowe kompozytów, w których część cementu zastąpiono dodatkiem popiołu lotnego i mączki cementowej są różnicowane i wysoce zależne od warunków pielęgnacji, (6) wykorzystanie jednoczesnego dodatku popiołu lotnego i mączki granitowej pozawala na uzyskanie wymaganej normowo przyczepności przy odrywaniu cementowej warstwy wierzchniej od podkładu, (7) Zastosowanie jednoczesnego dodatku popiołu lotnego mączki granitowej pozwala na uzyskanie lepszej jednorodności kompozytu cementowego, (8) optymalna ilość zastąpienia cementu jednoczesnym dodatkiem popiołu lotnego i mączki granitowej to 20% popiołu lotnego, 10% mączki granitowej, (9) jednoczesny dodatek popiołu lotnego i mączki granitowej pozawala na uzyskanie znacznej niższej ceny kompozytu cementowego nawet o 24%, zwiększenie współczynnika wydajności mechanicznej do 105% i obniżenia śladu węglowego do 16%, (10) zastąpienie cementu dodatkiem popiołu lotnego i mączki granitowej zostało sprawdzone z sukcesem w praktyce w posadzce cementowej garażu budynku mieszkalnego. Godne uwagi jest przygotowanie dwóch zgłoszeń patentowych zastrzegających uzyskane wyniki badań, z których jeden wynalazek uzyskał już ochronę patentową.

W zakończeniu pracy Doktorant wskazał kierunki dalszych badań, do których zaliczył: badania nad funkcjonalizacją mechaniczną badanych substytutów cementu, badania hydratacji cementu modyfikowanego dodatkiem funkcjonalizowanej mączki granitowej, zastosowanie sztucznej inteligencji w predykcji właściwości kompozytów cementowych, badania nad optymalizacją właściwości modyfikowanych mieszanek cementowych domieszkami.

Wykaz literatury jest bardzo obszerny i zawiera 192 pozycje. W zdecydowanej większości są to aktualne i najnowsze doniesienia z ostatnich kilku, kilkunastu lat. Ponadto Doktorant wskazał 8 pozycji prac opublikowanych w wyniku realizacji rozprawy doktorskiej, w tym jeden patent i jedno zgłoszenie patentowe.

Mgr inż. Adrian Chajec przedstawił bardzo ciekawe rozwiązanie problemu naukowego wykazując się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Na podstawie obszernego przeglądu stanu wiedzy wyznaczył cel naukowy rozprawy i co bardzo istotne także jej cel aplikacyjny. Wyznaczył bardzo szeroki program badań doświadczalnych, których zakres pozwolił na bardzo precyzyjną realizację wyznaczonych celów rozprawy.

Podsumowując ocenę merytoryczną rozprawy, do istotnych osiągnięć naukowych Doktoranta zaliczam: (1) trafnie dobrany temat rozprawy doktorskiej, w której przedstawił oryginalny sposób realizacji celu pracy, (2) zaprogramowanie i zrealizowanie kompleksowego i bardzo szerokiego program badań, (3) wykorzystanie nowoczesnych technik i metod badawczych, (4) wielopłaszczyznową, wszechstronną i wnikliwą analizę wyników badań pozwalającą na właściwe wnioskowanie, (5) oryginalne wyniki badań, (6) aplikacyjny charakter wyników badań.

5. Uwagi krytyczne

Rozprawa zawiera pewne usterki, do których zaliczam:

1. Str.21. Jakiej jest źródło rys.1c? 22,5 tony mączek mineralnych na hałdach na jednego mieszkańca Finlandii to jest bardzo dużo. Łącznie jest to ponad 120 mln. ton.

- W opisie składu chemicznego nie ma wyjaśnień zastosowanych oznaczeń liczbami rzymskimi i ich znaczenia (liczba Stocka, liczba utlenienia wskazujące na stopień utlenienia itd.)
2. Str.21,26,33,57, ... Numeracja tabel, wzorów i rysunków powinna odpowiadać numeracji rozdziałów.
 3. Str.23,48,91,92,123,124,129. Organizacja (układ) pracy powinna być taka, aby nie zachodziła konieczność odwołań w przód, mogą być odwołania wstecz. Wymaga to dużej cierpliwości czytelnika. Autor każe domyślać się co będzie dalej.
 4. Str.27. Wykres na rys.6a przedstawia powierzchnię właściwą ziaren mączki granitowej wg różnych badań. Maksymalna wartość powierzchni właściwej na tym wykresie to $14 \text{ cm}^2/\text{g}$. W tekście poniżej czytamy „Zwykle mączka granitowa ... charakteryzuje się powierzchnią właściwą ziaren w przedziale $3000\text{--}4500 \text{ cm}^2/\text{g}$ ”. Skąd tak duża różnica? Jaka jest wartość średnia powierzchni właściwej mączki?
 5. Str.39. O ile znaczenia symboli c i w i wyrażenia w/c są powszechnie znane to brakuje wyjaśnienia znaczenia symbolu s w wyrażeniu w/s . Chodzi tu z pewnością o spoiwo; cement + dodatki. Wyjaśnienie symbolu s jest dopiero na str.54.
 6. Str.51. Dlaczego powierzchnia właściwa ziaren popiołu lotnego jest opisana w m^2/g , a powierzchnia właściwa ziaren mączki granitowej w cm^2/g ? Wg normy PN-EN 196-6:2018 powierzchnię właściwą oznacza się w cm^2/g . Z przedstawionych wyników wynika, że powierzchnia właściwa popiołu lotnego jest blisko 10 krotnie większa niż powierzchnia właściwa popiołu lotnego (o jeden rząd wielości). Na rys.72 powierzchnia właściwa cementu, popiołu lotnego i mączki są bardzo zbliżone do siebie. Jaka jest wartość średnia powierzchni właściwej popiołu i mączki?
 7. Str.74. Raportowane badania Schwarz i Neithalath [144] dotyczą badania wpływu drobnego proszku szklanego na hydratację cementu, a nie „... nasiąkliwości kompozytów cementowych modyfikowanych dodatkiem popiołu lotnego, mączki wapiennej oraz jednocześnie dwoma tymi materiałami”.
 8. Str.81. Obydwa wykresy na rys.81 powinny być wykonane w tej samej skali na osi rzędnych. Ułatwia to ocenę i analizę wyników.
 9. Str.83. Wyróżnienie podpunktu 3.6.1 jest zbędne.
 10. Str.92. Na rys.50 w założeniach po „ w/c dla serii referencyjnej ...” brakuje opisu $w/s=0,4$ dla kompozycji modyfikowanych.
 11. Str.94,95. W tabelach nr 6 i 7 wprowadzono angielskojęzyczne skróty w opisie kompozycji materiałowych zaczynów i zapraw cementowych. Wcześniej były to skróty polskojęzyczne. Zaczyny i zaprawy, oprócz referencyjnych, charakteryzowały się stałym stosunkiem $w/s = 0,4$, a nie stałym stosunkiem $w/c = 0,4$, jak podaje Autor.
 12. Str.129,132. W rozprawie nie ma punktów 3.4.2 i 3.5.2.
 13. Str.190. Stwierdzenie „... dzięki wykorzystaniu jednoczesnego dodatku popiołu lotnego i odpadowej mączki granitowej do zastąpienia cementu w kompozytach cementowych wykorzystywanych w warstwie wierzchniej podłóg możliwe było uzyskanie lepszych właściwości warstwy wierzchniej niż z wykorzystaniem mieszanki niemodyfikowanej (REF)” nie jest do końca precyzyjne. Na podstawie wykresów z rys.102 można stwierdzić, że późna wytrzymałość późna na rozciąganie i ściskanie jest większa, a wytrzymałość normowa na rozciąganie i ściskanie jest nieznacznie mniejsza od wytrzymałości próbek referencyjnych.

Wymienione uwagi krytyczne mają charakter uwag technicznych, które w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej rozprawy, a mogą być przydatne dla Autora w dalszej działalności publikacyjnej.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy istotnych i bardzo aktualnych dla budownictwa zagadnień związanych z technologią betonu dotyczących wykonywania kompozytów cementowych z uwzględnieniem uwarunkowań wynikających z ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju. Oprócz wartości poznawczych dysertacja ma duże znaczenie dla praktyki. Praca zawiera bardzo interesujące badania i analizy. Oryginalny problem naukowy przedstawiony w rozprawie został rozpoznany, właściwie zdefiniowany i rozwiązany.

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej i umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Przedłożona do recenzji rozprawa mgr inż. Adriana Chajec pt. „Wpływ odpadowej mączki granitowej i krzemionkowego popiołu lotnego na wybrane właściwości kompozytów cementowych”, opracowana pod kierunkiem dr hab. inż. Łukasza Sadowskiego, profesora uczelni, pełniącego funkcję promotora oraz dr inż. Magdaleny Piechówki-Mielnik pełniącej funkcję promotora pomocniczego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym z dnia 20 lipca 2018 r. (tekst jednolity DzU z 2022 r., poz.574 z późniejszymi zmianami).

W związku z powyższym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Adriana Chajec do publicznej obrony recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Ponadto biorą pod uwagę trafność wyboru tematyki rozprawy i jej wysoki poziom merytoryczny wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Wrocławskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej szczególnie za jej oryginalność i użyteczność. Oryginalność wyników rozprawy potwierdził Urząd Patentowy RP, a ich użyteczność potwierdziło skuteczne wdrożenie w praktyce budowlanej.

