

Prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak
Instytut Budownictwa
Politechniki Poznańskiej
ul. Piotrowo 5
60-965 Poznań

Poznań, 8 .01.2024

WPLYNĘŁO - WBLIW

22-01-2024

22/07/2024

Recenzja rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Jeonghyun Kima

pt.: Effect of repeated use of recycled aggregate on some properties of concrete

(Wpływ wielokrotnego użycia kruszywa pochodzącego z recyklingu na niektóre właściwości betonu)

1. Podstawa opracowania opinii

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo z dnia 20.10.2023 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport prof. dr hab. inż. Wojciecha Puły z Politechniki Wrocławskiej informujące mnie o powołaniu na recenzenta rozprawy doktorskiej Mgr inż. Jeonghyun Kima .

2. Przedmiot , układ i zakres pracy

Recenzowana praca doktorska Pana mgr inż. Jeonghyun Kima z Politechniki Wrocławskiej dotyczy ustalenia wpływu wielokrotnego recyklingu betonu (drogą kruszenia i mielenia) na wybrane parametry następnych generacji betonów cementowych. Promotorami pracy są : Prof. dr hab. inż. Andrzej Ubysz z Politechniki Wrocławskiej , specjalista z zakresu konstrukcji budowlanych oraz dr hab. inż. Prof. UPP Anna M. Grabiec , z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu , chemik z wykształcenia, specjalistka od technologii betonu. Z tego powodu tematyka pracy doktorskiej wpisuje się nie tylko w dyscyplinę inżynieria lądowa, geodezja i transport , ale także i w szeroko rozumiane zagadnienia ochrony środowiska naturalnego z emisją CO₂ włącznie. Prezentacja treści nie jest typowa dla prac doktorskich bowiem nie zawiera tekstu ciągłego z wprowadzeniem, przeglądem literatury, opisem i analizą własnych badań laboratoryjnych , podsumowaniem, bibliografią itp.,

zawiera natomiast :

- skromne wprowadzenie ,
- krótkie streszczenie 5 artykułów naukowych związanych z tematyką rozprawy i jej zakresem w których :

[1] - przeanalizowano związek między jakością kruszywa betonowego pochodzącego z recyklingu a właściwościami użytkowymi betonu,

- [2] - dokonano analizy skuteczności projektowania mieszanki za pomocą metody równoważnej objętości zaprawy pod kątem jakości betonu z kruszywem pochodzącym z recyklingu,
- [3] - określono wpływ wielokrotnego recyklingu odpadów betonowych jako gruboziarnistego kruszywa z recyklingu na właściwości mechaniczne i trwałość nowego betonu,
- [4]- opisano, jak materiały pochodzące z recyklingu o różnych rozmiarach cząstek uzyskanych z odpadów betonowych , które zastąpiły odpowiednio kruszywo grube, kruszywo drobne i cement w betonie wpływają na jego cechy;
- [5]- przedstawiono i przeanalizowano wyniki badań nad wpływem materiałów proszkowych uzyskanych z wielokrotnego recyklingu odpadów betonowych na niektóre właściwości betonu jako częściowego zamiennika cementu,
- wnioski końcowe i podsumowanie, ale nie w postaci generalnych konkluzji tylko wniosków związanych z prezentacją treści w poszczególnych artykułach,
 - przedruki (kserokopie) z czasopism naukowych 5 wymienionych artykułów .

3. Obszar wiedzy będący przedmiotem pracy doktorskiej

W okresie po II wojnie światowej zaczęto intensywnie poszukiwać alternatywnych kruszyw do betonu kierując zainteresowania także w stronę recyklingu starych konstrukcji z betonu cementowego. Proces spotkał się z bardzo dobrym przyjęciem na całym świecie , stąd niezwykle bogata literatura techniczna, z których podstawowa to *Hansen TC .: Recycling of demolished concrete and masonry, 1992, Taylor & Francis, London/ New York* czy pozycja *M.N. Fardis (ed.): Innovative Materials and Techniques in Concrete Construction: Chapter 7: Recycled Aggregate Concrete for Structural , ACES Workshop, Springer Science+Business 2012*. Autor opinii także uczestniczył w licznych badaniach nad kruszywem wtórnym publikując artykuły z recyklingu betonu dla potrzeb drogownictwa (*Jasiczak J., Kucz M.: Waste not ... ways of reusing waste concrete , CEI, 10/1999; The durability of concrete pavements made with the recycled aggregates from 80.years old road concrete, BCRRA, Trondheim 2013*). Zawarte w literaturze spostrzeżenia wskazują na liczne niedogodności stosowania do betonu kruszywa wtórnego i potrzebę wyseparowania takich frakcji kruszywa, które mogą być zamiennikiem naturalnego kruszywa łamanego (nawiasem mówiąc norma *PN-EN12620:2004 Kruszywo do betonu, zaprawy i zaczynu* traktuje już kruszywo wtórne jako kruszywo konstrukcyjne a RILEM Recommendation, 1994, dopuszczają nawet kruszywo z recyklingu do betonów do klasy C50/60). Rozpatrywane na tym tle założenia pracy doktorskiej mgr inż. Jeonghyun Kima mają znacznie szerszy zakres , bowiem ujmują użycie betonowego kruszywa recyklingowego z wielokrotnie przekruszonego betonu , z którego uzyskane kruszywo

wtórne jest używane do zaformowania kolejnej serii próbek, podlegających dalszemu zgniataniu. Obserwujemy tutaj „degenerację” kruszywa wtórnego, które po pierwszym przekruszeniu zawiera jeszcze dużą część kruszywa naturalnego, ale po kolejnych etapach recyklingu staje się raczej zaprawą cementową sprowadzoną do wymiarów frakcji 4,75 – 19 mm niż jednomateriałową inkluzją. Problem kruszywa wtórnego z wielokrotnego recyklingu betonu obejmuje zarówno kruszywo grube, jak i frakcję drobną.

Należy także podkreślić, że uzyskanie korzystnych parametrów betonu recyklingowego po pierwszym przekruszeniu betonu pierwotnego jest możliwe nawet wtedy, gdy do jego wykonania użyje się zestawu kruszyw, składającego się aż w 75% (objętościowo) z betonowego kruszywa wtórnego, natomiast niejasne są efekty, gdy proces ten powtarza się wielokrotnie, a kruszywo ulega „degeneracji”. Jest to podstawowe pytanie, na które stara się odpowiedzieć Doktorant.

4. Dyskusja uzyskanych wyników badań

Podczas czytania pracy i analizowaniu uzyskanych wyników badań nasunęły się liczne uwagi, komentarze i wnioski nad trafnością wnioskowania autora. Przedstawiają się one następująco.

1) Uwaga ogólna odnośnie rozprawy jako zbioru publikacji.

Rady dyscyplin są zgodne, że powinny być w takim przypadku spełnione przynajmniej dwa warunki :

Zbiór publikacji włączonych do rozprawy doktorskiej powinien być spójny tematycznie, stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i zawierać artykuły opublikowane lub przyjęte do publikacji w czasopismach z części A wykazu czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

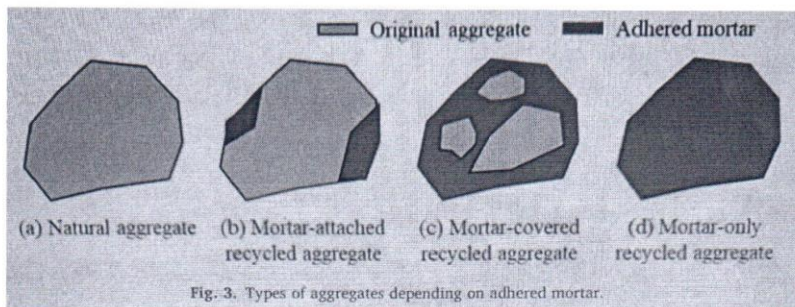
*Zbiór artykułów powinien zostać poprzedzony **wprowadzeniem** zawierającym spis treści, cel pracy, opis postawionych hipotez oraz uzasadnienie spójności serii artykułów. **Rozprawę doktorską** powinna podsumowywać lista wniosków. W skład rozprawy powinny również wchodzić streszczenia w języku polskim i angielskim.*

Patrząc pod tym kątem na Raport serii PRE nr 7/2023 autorstwa Pana Jeonghyun Kima można mieć wątpliwości, czy całkowicie spełnione jest wymaganie drugie, szczególnie odnośnie opisu postawionych hipotez oraz uzasadnienia spójności serii artykułów oraz wniosków generalnych. Przedstawione do oceny 5 artykułów traktowanych oddzielnie jest bez zarzutu, natomiast doszukiwanie się w nich spójności stanowi pewne wyzwanie dla recenzenta, ponieważ syntezę można zbudować dopiero po dokładnym przestudiowaniu wszystkich

publikacji (ale nie do końca będzie wiadomo, czy taki był pomysł autora). Można wtedy także sformułować wnioski generalne, czego doktorant nie zrobił.

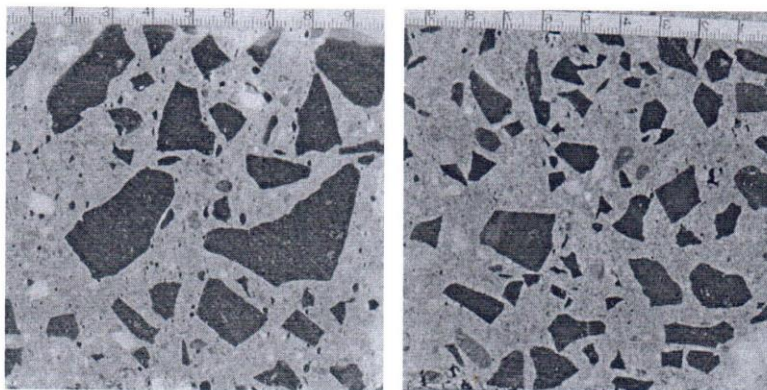
2) Ujęcie ilościowe stopnia „degeneracji” kruszywa naturalnego

W publikacji [A1] Doktorant stopniuje jakość kruszywa wtórnego w zależności od kolejnego procesu łamania. Używając tej samej kruszarki uzyskuje podobny kształt ziaren, jak na rysunku poniżej



z czym można się zgodzić, bo świadczą o tym krzywe przesiewu przedstawione w artykule [A3] (Fig.3. Particle size distributions of aggregates). Występuje tutaj pewna niejednoznaczność , mianowicie z rysunku j.w. wynika ,że tożsamy jest natural aggregate = original aggregate. Czy zatem na rysunku (Fig. 1. Concrete mix designs (adapter from Yang and Lee [41]) z publikacji [A2]) original aggregate dotyczy porcji całkowicie nowego kruszywa, czy zawartości pierwotnego kruszywa (natural aggregate) w kruszywie po recyklingu ? Z kolei z Table 3. Mixture proportions (kg/m³) z artykułu [A3] wynikałoby, że jest to kruszywo nowe , i generalnie tak powinno być.

Pytanie : dlaczego doktorant nie zamieścił w raporcie fotografii zglądów powierzchni betonów NCA , RCA1, RCA2 , RCA3 jak ja to zrobiłem w swojej publikacji (beton pierwotny, beton recyklingowy – pierwsza generacja, przebudowa odcinka A18)?



Używając kruszywa łamanego bazaltowego w betonie pierwotnym i kruszywa wapiennego dosypywanego do kolejnych generacji betonów recyklingowych można doskonale prześledzić ubytki ilościowe kruszywa wyjściowego i w sposób celowy wpływać na cechy kolejnych generacji betonów wtórnych.

3) Receptura betonu referencyjnego a efekty recyklingu

Jak wynika z artykułu [3] beton referencyjny przygotowano z wykorzystaniem kruszywa naturalnego i receptury mieszanki z wybranej wytwórni betonu towarowego o wytrzymałości 28 dniowej rzędu 30 MPa i opadzie stożka 180 mm. Dla betonu tak niskiej klasy użyto aż 410 kg cementu (o wysokim stopniu przemiału, co najmniej klasy 42,5 , z pewnością z dodatkami mineralnymi ???) i 810 kg piasku , co przy punkcie piaskowym 46% i tym samym dużej wodozadržności stosu okruszowego dało stosunkowo niską wytrzymałość betonu na ściskanie. Z tego powodu powstałe kruszywo recyklingowe jest zasobne w cement który, mimo dużej nasiąkliwości zaprawy , hydratyzuje w kolejnej generacji betonu , powiększając efekt wytrzymałościowy, a nawet po pierwszym cyklu recyklingowym zwiększając wytrzymałość ponad wartości NCA. Sukces jest pozorny, bowiem przy normalnie przyjmowanym betonie referencyjnym (350 kg cementu, 175 l wody, 1850 kg kruszywa) beton byłby chudszy a kruszywo recyklingowe lepsze mechanicznie , ale mniej aktywne. Nawiasem mówiąc Doktorant w artykule [4] zamienił beton referencyjny z publikacji [3] na OPC = 389 kg, woda = 175 l, w/c=0,45, NCA = 1011 kg, NFA = 740 kg, czyli na bliższy recepturowo mojej propozycji.

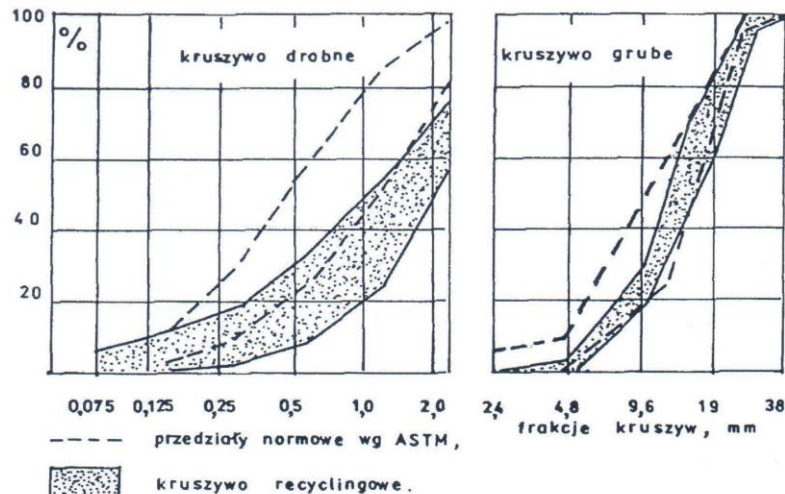
Pytanie : dlaczego na rys. 5,6,7,8 za poziom odniesienia nie przyjęto parametru NCA a pochodne RCAI ? Nie interesują nas relacje między betonami recyklingowymi , interesują nas relacje betonów recyklingowych do betonu NCA (na kruszywie normalnym). Różnice między właściwościami betonów recyklingowych 1 i 2 generacji nie są duże , ale są już wyraźnie zauważalne między recyklingiem 1 a 3, ale np. skurcz dla wszystkich generacji recyklingowych mieści się w granicach wyznaczonych dla nowych konstrukcji mostowych, czego z pewnością nie wykazywał beton referencyjny!

4) Powtórne użycie frakcji drobnej kruszywa

Jak już zaznaczyłem Doktorant w artykule [4] zamienił beton referencyjny przyjmowany w publikacji [3] na opisany następująco (dane dla 1 m³) : OPC = 389 kg, woda = 175 l, w/c=0,45, NCA = 1011 kg, NFA = 740 kg, czyli na bliższy recepturowo mojej propozycji betonu referencyjnego . Cement ma niższy stopień przemiału ,z pewnością jest bez dodatków mineralnych .

Pytanie : dlaczego zmieniono recepturę ? Dla ciągłości wywołu lepiej byłoby przyjmować stałą recepturę referencyjną.

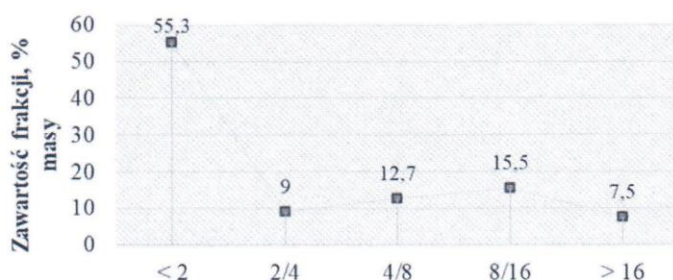
Z moich doświadczeń możliwości stosowania recyklingu kruszyw drobnych wynika wniosek negatywny, bowiem dla betonów np. drogowych w specyfikacjach spotyka się ograniczenia jak na rysunku poniżej :



Dane te pochodzą z połowy lat 90. XX wieku , dotyczą przebudowy A18 na odcinku przed Wrocławiem . Wykluczono wówczas drobne kruszywo recyklingowe a przyjęto do wykonywania betonów kruszywo wtórne z recyklingu, bo spełniało wymagania graniczne krzywej przesiewu wg ASTM. Podobne krzywe graniczne przesiewu dla kruszywa grubego przedstawia Doktorant (także wg ASTM) i ma tutaj pozytywne wyniki dla kruszywa grubego (por. Fig.1 z publikacji [A4] pt .: Particle size distribution of natural and recycled agregates), ale także i dla drobnego , chociaż RFA jest blisko dolnej granicy dopuszczalnej. Należy podkreślić, że kruszywa recyklingowe drobne znacząco się różnią od naturalnych i w związku z tym o wielu cyklach recyklingowych nie może chyba być mowy ?(**jest to pytanie**).

- 5) Recyklingowa frakcja pylasta , PC < 0,15 mm , jako zamiennik części cementu (w rozprawie 10, 20 30 %)

Niezależnie od wcześniej omówionych zagadnień Doktorant zamierzał także wykazać proekologiczność swoich badań starając się wykorzystać frakcję najdrobniejszą . Pomysł jest znakomity, bowiem według ostatnich wyników badań (E. Pawluczuk, M. Boltryk i in. *Recykling gruzu betonowego metodą bezodpadową*, *Inżynier Budownictwa* , 15.03.2023) frakcja najdrobniejsza może stanowić nawet 55% masy gruzu.



Wyniki Doktoranta nie okazały się zachęcające dla stosowania pyłów odpadowych, a nawet szkodliwe dla właściwości betonu. Być może odseparowanie tylko SiO₂ z frakcji najdrobniejszych i poddanie ich obróbce trybologicznej dałoby mikrocząstki zbliżone do mikrokrzemionki, a ta daje oszczędności cementu (pytanie, czy byłby to proces opłacalny ekonomicznie).

5. Ocena dysertacji

Ocena pracy doktorskiej Pana mgr inż. Jeonghyun Kima z Politechniki Wrocławskiej, mimo przedstawionych uwag, jest w pełni pozytywna.

Rozprawa doktorska (przedstawiona jako Raport PRE 7/2023) ma dobre podstawy naukowe i spodziewane szerokie możliwości aplikacyjne, co udowodniono w artykułach [3] i [4] a także częściowo [5], mimo krytycznej oceny zamiennika PC. Stanowi samodzielnie wykonane opracowanie naukowe pod kierunkiem promotorów, będące oryginalnym rozwiązaniem problemu wielokrotnego recyklingu betonu cementowego. Tak opisana problematyka dotyczy metodologii badań, wnioskowania i oceny rozwiązań technicznych przypisanych generalnie do budownictwa zrównoważonego.

Oryginalność pracy polega na:

- dostrzeżeniu, po obszernych studiach literaturowych, nowych możliwości badawczych nad problemami recyklingu betonu,
- wskazaniu możliwości wielokrotnego recyklingu betonu cementowego z wyznaczeniem granic technicznej opłacalności,
- poszerzeniu składu granulometrycznego kruszyw o frakcje drobne < 0,15 mm, traktowane dotąd jako bezwartościowe przy wykonywaniu betonów konstrukcyjnych.

Praca ma charakter interdyscyplinarny, z różnych obszarów wiedzy (inżynieria lądowa i środowiska, budownictwo betonowe, kruszywo mineralne wtórne, ocena śladu węglowego). O posiadaniu przez Doktoranta ogólnej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport (bo taką dyscyplinę dla Doktoranta wskazuje pismo

przewodnie) świadczy umiejętność zebrania i przygotowania syntezy z literatury (publikacje [1] i [2]) , przygotowania planu i zrealizowania badań w stosunku do potrzeb budownictwa zrównoważonego oraz umiejętność wskazania granic i zakresu stosowania powszechnie przyjętych metod laboratoryjnych odnośnie właściwości betonu konstrukcyjnego z uwzględnieniem licznych materiałowych rozwiązań alternatywnych – wariantowych. Kandydat do stopnia doktora posiadał także umiejętność samodzielnego prowadzenia badań i wskazania realnych możliwości aplikacyjnych wyników badań w ramach podjętej pracy naukowej. Niezależnie od samego Raportu PRE nr 7/2023 i przedstawionych w nich wynikach jest także autorem lub współautorem 9 innych publikacji w renomowanych czasopismach o zasięgu światowym , uczestnikiem konferencji o zasięgu międzynarodowym , autorem projektów badawczych i uczestnikiem staży naukowych. Jest doświadczonym badaczem osadzonym w realiach światowych, nie zapominającym jednak o kraju rodzinnym (waste management in Korea).

6. Wniosek końcowy

Oceniając pozytywnie całość dotychczasowych dokonań Pana mgr inż. Jeonghyun Kima oraz biorąc pod uwagę wymagania Art.187 U S T A W Y z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z dnia 30.08.2018 r., Poz. 1668) w brzmieniu :

- 1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej,*
- 2. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne,*

stwierdzam, iż Rada Dyscypliny Inżynierii Lądowej , Geodezji i Transportu Politechniki Wrocławskiej może skierować pracę do publicznej obrony.

