

## NOŚNOŚĆ PODŁOŻA DROGOWEGO Z DESTRUKTU BETONOWEGO NA PRZYKŁADZIE BADAŃ CBR

Wojciech SAS\*, Andrzej GŁUCHOWSKI

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

**Streszczenie:** Destrukt betonowy jest materiałem powstałym z kruszenia wyeksploatowanych elementów betonowych. Dotychczas destrukt betonowy deponowano na składowiskach odpadów. Obecnie, w wyniku zwiększonego zapotrzebowania na kruszywo, poszukuje się materiałów alternatywnych. Destrukt betonowy cechuje się wysoką wytrzymałością, niemniej pewne właściwości zarówno mechaniczne, jak i fizyczne nadal budzą wątpliwości, co często zniechęca inżynierów do zastosowania tego materiału. W pracy przedstawiono wyniki badań kalifornijskiego wskaźnika (CBR) nośności destruktu betonowego. Badania poprzedzono analizą właściwości fizycznych materiału. Określenie wskaźnika CBR przeprowadzono dla gruntu o wilgotności optymalnej i w stanie powietrzno-suchym, uwzględniono także takie niekorzystne warunki jak pełne nasycenie oraz niskie zagęszczenie gruntu.

*Słowa kluczowe:* destrukt betonowy, CBR, budownictwo drogowe, grunt nasypowy.

### 1. Wprowadzenie

Rozwijające się budownictwo w Polsce zużywa coraz większą ilość materiałów. Dlatego poszukuje się tańszych kruszyw, które mogą zastąpić kruszywo naturalne, szczególnie w budownictwie komunikacyjnym. Zastosowanie materiałów pochodzących z recyklingu często jest właściwą odpowiedzią na powstające potrzeby. Materiały, takie jak: szkło piankowe, destrukt asfaltowy, a także destrukt betonowy powstają z odpadów budowlanych, a mogą być zastosowane w budownictwie. Istotną cechą każdego z tych materiałów jest czasami duże zróżnicowanie pod względem właściwości mechanicznych, jak i fizycznych w porównaniu do kruszywa naturalnego.

Destrukt betonowy dotychczas traktowany jako odpad, który deponowano na składowiskach odpadów. Zmiany w krajowej polityce dotyczącej gospodarowania odpadami powodują powstanie potrzeby wykorzystania destruktu betonowego jako materiału budowlanego (Kabziński, 2012).

Destrukt betonowy powstający w procesie kruszenia został zastosowany jako podbudowa drogowa w konstrukcjach drogowych na terenie między innymi Chin, USA i Norwegii (Li, 2008; Aurstad i in., 2006; Edil i in., 2012). Ponadto destrukt betonowy został sklasyfikowany jako materiał odpowiedni do konstrukcji podbudów pomocniczych, podbudów zasadniczych, warstw odcinających, a także jako element wypełniający nasypy będące barierą dźwiękochłonną (Krezel

i McManus, 2000; Petkovic i in., 2004; Poon i Chan, 2008).

Właściwości destruktu betonowego, takie jak dodatkowa cementacja wynikająca z uwolnienia wcześniej niezwiązanych związków pucolanowych powodują potrzebę lepszego zrozumienia właściwości tego materiału (Deshpande i Hiller, 2011).

Istotną częścią badań tego materiału antropogenicznego wydaje się być klasa betonu będącego źródłem kruszywa (Naziemiec i Gawenda, 2006). Wytrzymałość betonu przed procesem kruszenia może istotnie wpłynąć na jego zachowanie w trakcie powtórnej eksploatacji jako warstwa konstrukcyjna nawierzchni drogowej.

Ponadto, zwraca się uwagę na obowiązek zapewnienia tej samej jakości kruszywa zarówno w przypadku gruntu naturalnego, jak i nasypowego. Te wymagania, określane na podstawie tych samych badań laboratoryjnych, mogą często źle określać parametry gruntu antropogenicznego z powodu jego innej natury, na co zwracano już uwagę (Aurstad i in., 2006, Zabielska-Adamska, 2008). Dodatkowo powinno uwzględniać się wpływ obciążeń cyklicznych na pracę gruntu antropogenicznego w budownictwie drogowym (Sas i in., 2014).

Stąd ważne jest badanie materiałów antropogenicznych nie tylko w celu określenia charakterystyki wytrzymałościowej, lecz także w celu przetestowania zasadności używania niektórych technik laboratoryjnych.

Destrukt betonowy, w porównaniu do naturalnego kruszywa, różni się przede wszystkim pozostałością

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: wojciech\_sas@sggw.pl

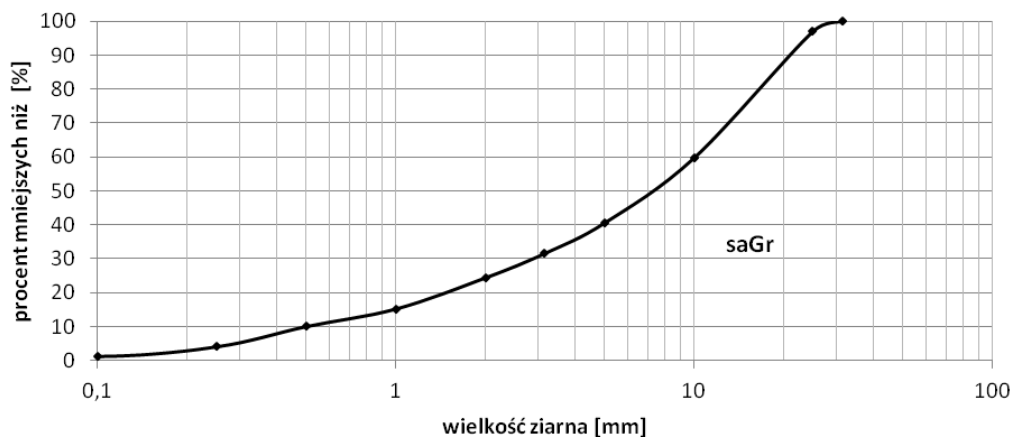
hydratyzowanego cementu na powierzchni ziaren kruszywa będącego składnikiem betonu. W efekcie ta właściwość prowadzi do niższej gęstości właściwej ziaren, zróżnicowaniu w jakości kruszywa, a także większej zdolności absorpcji (Gee, 2007; Paranavithana i Mohajerani, 2006).

Badania kalifornijskiego wskaźnika nośności (*CBR*) będące najpopularniejszymi wykonywanymi w laboratoriach badaniami jakości kruszyw do budowy dróg, pozwalają na ustalenie procentowej wartości wskaźnika zalecanej dla badanego kruszywa. Podejmowane są także próby przewidywania wskaźnika *CBR* za pomocą sztucznych sieci neuronowych (Zabielska-Adamska i Sulewska, 2009). Wartość ta klasyfikuje grunt, zgodnie z Wymaganiami Technologicznymi WT-4 (2010), do wykorzystania w poszczególnych warstwach konstrukcyjnych. Ocena wartości *CBR* jest istotna dla inżynierskiego wykorzystania tego materiału w budownictwie drogowym.

Celem pracy jest przedstawienie wyników badań *CBR* destruktu betonowego, oraz określenie czynników fizycznych wpływających na jego wartość.

## 2. Materiały

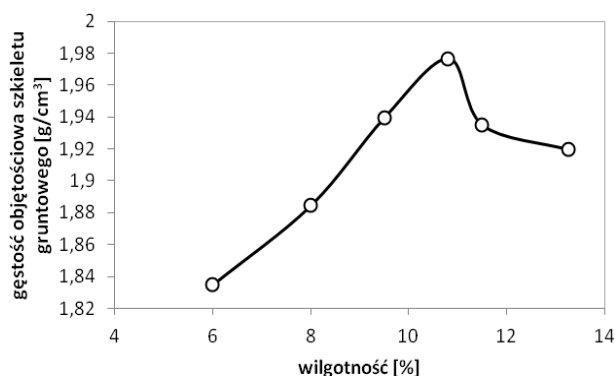
Badaniu poddano materiał pochodzący z kruszenia krawężników drogowych. Przed badaniem określono klasę wytrzymałości betonu użytego do budowy krawężników jako B20 (C16/20). Kruszywo antropogeniczne w 100% składało się z destruktu betonowego i nie zawierało materiałów innego pochodzenia jak szkło czy cegły. Na podstawie analizy sitowej wykonanej według PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 *Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów – Część 4: składu granulometrycznego* określono krzywą uziarnienia (rys. 1). Grunt rozpoznano jako żwir piaszczysty (saGr) zgodnie z normami PN-EN 1997-2:2009 *Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne Część 2: Rozpoznawanie i badanie podłoża gruntowego* i PN-EN ISO 14688-2:2006 *Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikacja gruntów – Część 2: Zasady*



Rys. 1. Krzywa uziarnienia badanego gruntu

klasyfikowania. Destrukt betonowy zawierał ziarna w przedziale od 31,5 mm do 0 mm. Określono wskaźnik różnoziarnistości  $C_U = 20$  oraz wskaźnik krzywizny uziarnienia  $C_C = 1,92$ . Według PN-EN ISO14688-2:2006 materiał klasyfikowany jest jako grunt wielofrakcyjny.

Następnie wykonano badanie zagęszczalności metodą zmodyfikowaną Proctora według PN-88/B-04481 *Grunty budowlane*. Badania próbek gruntu. Destrukt zagęszczano metodą IV: ubijakiem o masie 4,5 kg w dużym cylindrze o objętości 2,2 dm<sup>3</sup> w 5 warstwach, jednostkowa energia zagęszczania wynosiła  $E_z = 2,65 \text{ J/cm}^3$ . Ustalona wilgotność optymalna wynosiła  $w_{\text{opt}} = 10,8\%$ , a maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego 1,98 g/cm<sup>3</sup> (rys. 2). Wykonano także badania przy zredukowanej energii zagęszczania  $E_z = 2,12 \text{ J/cm}^3$ .



Rys. 2. Wyniki badań wilgotności optymalnej gruntu metodą Proctora

Destrukt betonowy został dodatkowo poddany badaniom fizycznym podczas wykonywania badań *CBR*. Destrukt zbadano w stanie powietrzno-suchym oraz przy wilgotności optymalnej. Badanie przeprowadzono dla gruntu nienasyconego i nasyconego, a także w warunkach niedostatecznego zagęszczenia, zmniejszonego o 20% (zagęszczenie za pomocą energii zredukowanej). Tabela 1 prezentuje wyniki oznaczenia właściwości fizycznych dla poszczególnych serii.

Tab. 1. Właściwości fizyczne destruktu betonowego

parametr	wilgotność powietrzno-sucha $E_z=2,65 \text{ J/cm}^3$	wilgotność optymalna $E_z=2,65 \text{ J/cm}^3$	grunt w pełni nasycony $E_z=2,65 \text{ J/cm}^3$	wilgotność optymalna $E_z=2,12 \text{ J/cm}^3$
wilgotność $w$ [%]	2,47	10,8	13,4	10,8
gęstość objętościowa szkieletu gruntowego $\rho_d$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,80	1,98	1,98	1,91
wskaznik porowatości $e$ [-]	0,58	0,44	0,44	0,49
porowatość $n$ [-]	0,37	0,31	0,31	0,33
stopień wilgotności $S_r$ [-]	0,12	0,70	1,00	0,63
stopień zagęszczenia $I_D$ [-]	0,64	1,00	1,00	0,87

### 3. Metody badań

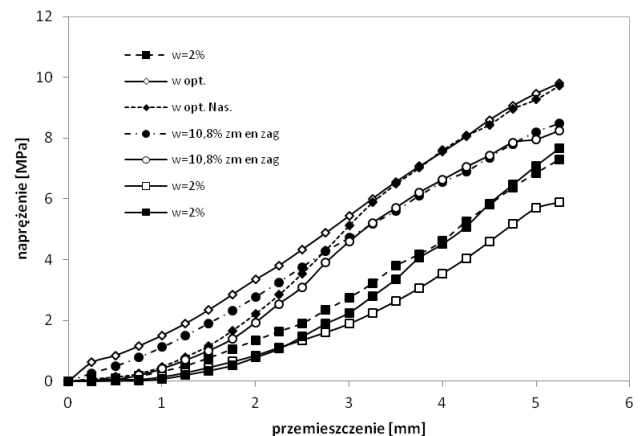
Wykonano badania *CBR* destruktu betonowego który został zagęszczony w cylindrze *CBR* zgodnie z metodą zmodyfikowaną Proctora oraz metoda Proctora ze zredukowaną o 20% energią zagęszczenia. Próbkę był badane do osiągnięcia przez trzpień głębokości 5,25 mm. Każde badanie wykonywano z prędkością zagłębiania trzpienia równą 1,27 mm/min. Podczas badania dokonywano cyfrowego zapisu zagłębienia tłoka [mm] i wartości siły  $F$  [kN] z krokiem co 0,25 mm. Destrukt betonowy po badaniu ważono i suszono w celu kontroli właściwości fizycznych.

### 4. Wyniki i dyskusja

Wykonano 4 serie po 5 badań *CBR* (łącznie 20 próbek). Na rysunku 3 pokazano reprezentatywne wartości wyników badań. Dla wilgotności 2,47% (linia oznaczona jako  $w = 2\%$ ) wyniki badań *CBR* przedstawiały największą zmienność. Związane jest to z dużą szorstkością materiału, która wraz ze wzrostem wilgotności zmniejsza się, co widać zarówno na podstawie badań *CBR*, jak i wyników badań Proctora. Jest to związane z ułożeniem ziaren. Proces zagęszczania może nie dostarczać wystarczającej energii do optymalnego zagęszczenia destruktu przy wilgotności w stanie powietrzno-suchym. Ponadto, zwiększenie energii zagęszczenia może doprowadzić do powstania zjawiska kruszenia, przez co materiał zmieni swoją pierwotną krzywą uziarnienia.

Podczas badania *CBR*, naprężenie rozkładające się w gruncie poprzez kontakt między ziarnami zależy w dużej mierze od powierzchni kontaktu między ziarnami. Większa szorstkość ziaren destruktu betonowego w stanie powietrzno-suchym, niż przy innych wilgotnościach, powoduje że badania *CBR* dla kilku próbek przedstawiają

różniące się między sobą charakterystyki naprężeni-przemieszczenie.



Rys. 3. Wyniki badań *CBR* destruktu betonowego w różnych warunkach

Badanie *CBR* pozwoliło na wyznaczenia charakterystycznych wartości *CBR* dla czterech różnych przypadków (tab. 2). Największa wartość *CBR* dla destruktu betonowego otrzymano w przypadku gruntu o wilgotności optymalnej, zagęszczonego zgodnie ze zmodyfikowaną energią zagęszczenia i wynosiła ona 94,71%. Badanie *CBR* w przypadku każdej próbki przebiegało w podobny sposób. W pierwszy etap następowala mobilizacja nośności destruktu betonowego. Grunt uzyskiwał właściwą wytrzymałość przy głębokości równej około 1 mm. Dodatkowo zanotowano charakterystyczny dźwięk kruszenia się ziaren próbki w pierwszym etapie obciążenia. Wskazuje to na wpływ na zanotowane wartości naprężenia przesuwania się i kruszenia się ziaren. Próbki po badaniu wykazywały makroskopowo większe zagęszczenie pod miejscem penetracji tłoka niż wokół niego. Ponadto miały tendencje

Tab. 2. Wyniki badań CBR dla destruktu betonowego

Penetracja CBR	wilgotność w stanie powietrzno-suchym $E_z = 2,65 \text{ J/cm}^3$	wilgotność optymalna $E_z = 2,65 \text{ J/cm}^3$	grunt w pełni nasycony $E_z = 2,65 \text{ J/cm}^3$	wilgotność optymalna $E_z = 2,12 \text{ J/cm}^3$
CBR 2,5 [%]	30,0	62,0	51,0	54,0
CBR 5,0 [%]	64,0	95,0	93,0	82,0

do wiązania, szczególnie w przypadku próbek w wilgotności optymalnej oraz nasyconych. Możliwe że jest to spowodowane działaniem niehydratyzowanych związków pucolanowych.

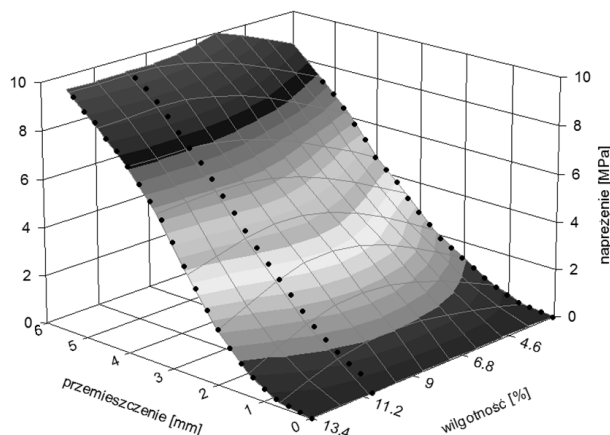
Nie zauważono także istotnego wpływu nasycenia próbki na wyniki badania CBR (wyniki badania CBR na głębokości 5,0 mm). Zredukowana energia zagęszczania przy wilgotności optymalnej wyraźnie przyczyniła się do zmniejszenia się wyników badania CBR. Wyniki na głębokości penetracji 2,5 mm różnią się od tych na głębokości 5,0 mm względu na zjawisko kruszenia i przesuwania się ziaren.

Kolejnym etapem była analiza wyników badania CBR w zależności od zmiany właściwości fizycznych, takich jak stopień nasycenia i wilgotność destruktu oraz energia zagęszczania.

Rysunek 4 prezentuje zmianę charakterystyki naprężenie-przemieszczenie w badaniach CBR w zależności od wilgotności gruntu. Trójwymiarowy obraz tej zmienności pozwala na wyznaczenie zależności pomiędzy charakterystyką otrzymaną z badania CBR i zmianą wilgotności. Równanie (1), otrzymane za pomocą programu TableCurve 3D na podstawie badań CBR (czarne punkty), prezentuje zmianę naprężenia  $\sigma$  oznaczonego jako  $z$ , w zależności od zagłębienia trzpienia  $d$  oznaczonego jako  $x$  i wilgotności gruntu w oznaczonej jako  $y$ :

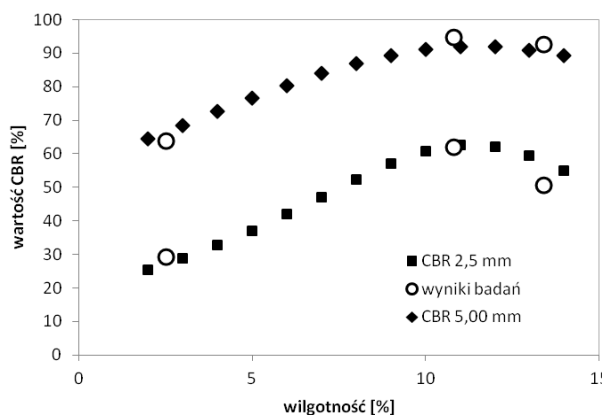
$$z = \frac{a + bx + cx^2 + dx^2 + ey}{1 + fx + gx^2 + hy + iy^2} \quad (1)$$

gdzie: litery od  $a$  do  $i$  oznaczają stałe równania:  $a = 0,110575007$ ;  $b = 0,299447229$ ;  $c = -0,19002565$ ;  $d = 0,102382016$ ;  $e = -0,0116137$ ;  $f = -0,19804911$ ;  $g = 0,065973766$ ;  $h = -0,11292853$ ;  $i = 0,004875293$ . Dla równania (1) wartość  $R^2$  dla powierzchni i danych empirycznych wynosiła 0,994.



Rys. 4. Trójwymiarowy obraz zmiany wartości naprężenia wraz ze zmianą zagłębienia trzpienia i wilgotnością destruktu betonowego (punkty przedstawiają wyniki badań)

Równanie (1) zostało użyte do wyznaczenia zmian wskaźnika CBR wraz ze zmianami wilgotności. Przyjęto stałe przemieszczenie tłka na głębokości 2,5 i 5,0 mm. Jako zmienną wykorzystano wilgotność. Dla tych warunków otrzymano za pomocą wzoru (1) wartość naprężenia, którą następnie przeliczono na wartość CBR (rys. 5). Najwyższą wartość wskaźnika CBR uzyskano dla wilgotności 11%, zgodnie ze wzorem (1). Oznacza to, że destruktu betonowy pod wpływem zmian wilgotności zachowuje się tak samo jak grunty naturalne. Pomimo kruszenia się materiału nie wykazuje on z tego powodu innego zachowania się w przypadku zmiany wilgotności niż grunty naturalne.



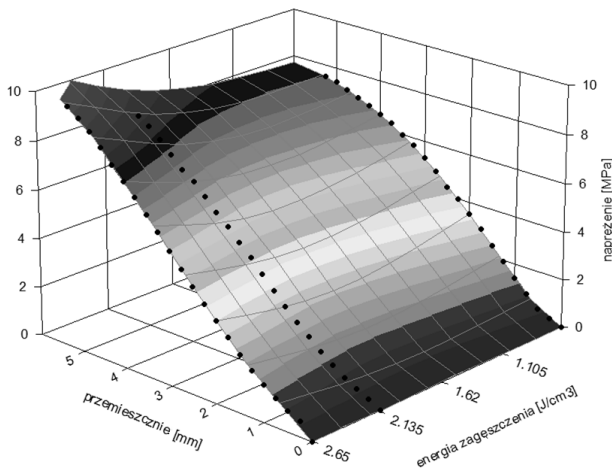
Rys. 5. Wyniki zmiany wskaźnika CBR i wilgotności

Rysunek 6 prezentuje zmianę charakterystyki naprężenie-przemieszczenie w badaniach CBR w zależności od energii zagęszczania. Trójwymiarowy obraz tej zmienności pozwala na wyznaczenie zależności

między charakterystyką otrzymaną z badania *CBR* i zmianą energii zagęszczenia. W równaniu wykorzystano wyniki badań *CBR* dla energii zagęszczenia równych: 2,65 J/cm<sup>3</sup>, 2,12 J/cm<sup>3</sup> i 0,59 J/cm<sup>3</sup>. Równanie (2) reprezentuje zmianę naprężenia  $\sigma$  oznaczonego jako  $z$  w zależności od zagłębienia trzpienia  $d$  oznaczonego jako  $x$  i energii zagęszczenia  $E_z$  oznaczonej jako  $y$ :

$$z = a + bx + cy + dx^2 + ey^2 + fxy + gx^2 + hy^2 + ixy^2 + jx^2y \quad (2)$$

gdzie litery od  $a$  do  $i$  oznaczają stałe równania:  $a = 0,007281085$ ;  $b = 2,026418768$ ;  $c = -0,42048627$ ;  $d = 0,147950297$ ;  $e = 0,09468285$ ;  $f = -0,85935516$ ;  $g = -0,04394887$ ;  $h = 0,038735008$ ;  $i = 0,156949187$ ;  $j = 0,102137393$ . Dla równania (2) wartość  $R^2$  pomiędzy wynikami badań a wartościami obliczonymi na podstawie przyjętej funkcji wynosiła 0,999.



Rys. 6. Trójwymiarowy obraz zmiany wartości naprężenia wraz ze zmianą zagłębienia trzpienia i energią zagęszczenia dla destruktu betonowego

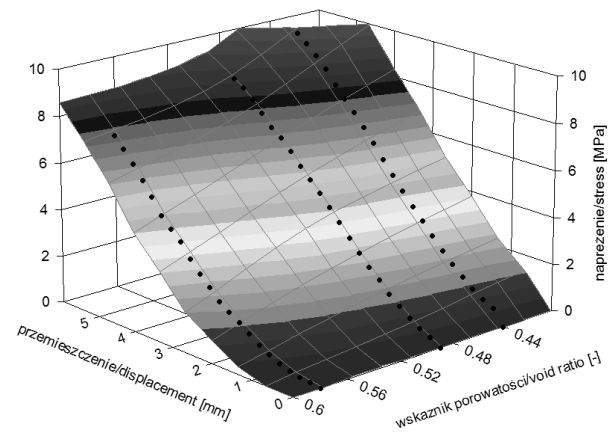
Równanie (2) przedstawia wpływ wzrostu energii zagęszczenia na wzrost wskaźnika nośności *CBR*. Otrzymane wyniki potwierdzają wpływ większych energii zagęszczenia na zwiększenie się wskaźnika nośności.

Rysunek 7 prezentuje zmianę charakterystyki naprężenie-przemieszczenie w badaniach *CBR* w zależności od zmiany wskaźnika porowatości. Trójwymiarowy obraz tych zależności pozwala na wyznaczenie zmian charakterystyki otrzymanej z badania *CBR* i zmian wskaźnika porowatości. Równanie (3) prezentuje zmianę naprężenia  $\sigma$  oznaczonego jako  $z$  w zależności od zagłębienia trzpienia  $d$  oznaczonego jako  $x$  i wskaźnika porowatości  $e$  oznaczonego jako  $y$ :

$$z = a + bx + \frac{c}{y} + dx^2 + \frac{e}{y^2} + \frac{fx}{y} + gx^2 + \frac{h}{y^2} + \frac{ix}{y^2} + \frac{jx^2}{y} \quad (3)$$

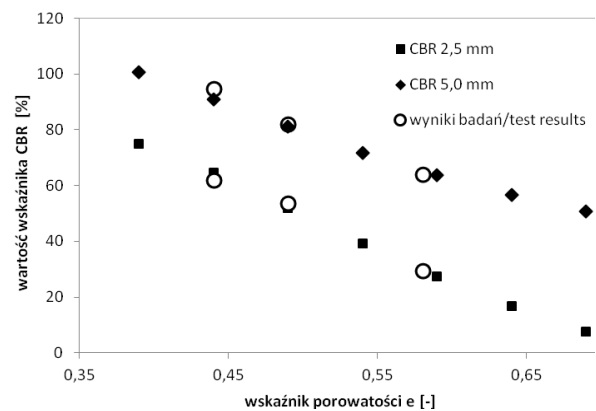
gdzie litery od  $a$  do  $i$  oznaczają stałe równania:  $a = -3,26318939$ ;  $b = -3,49251586$ ;  $c = -0,08425937$ ;  $d = 1,030057614$ ;  $e = 2,655795668$ ;  $f = 1,456630108$ ;  $g = -0,03617539$ ;  $h = -0,87306618$ ;  $i = 0,274280039$ ;  $j = -0,31758035$ . Dla równania (3) wartość korelacji  $R^2$

między wynikami badań, a wartościami obliczonymi wynosiła 0,998.



Rys. 7. Trójwymiarowy obraz zmiany wartości naprężenia wraz ze zmianą zagłębienia trzpienia i wskaźnika porowatości dla destruktu betonowego

Równanie (3) posłużyło do wyznaczenia zmiany wskaźnika *CBR* wraz ze zmianą wskaźnika porowatości. Rezultat obliczeń przedstawiono na rysunku 8. Wzrost wartości wskaźnika *CBR* przy zmniejszaniu się wskaźnika porowatości oznacza, że wzrost zagęszczenia poprawia właściwości mechaniczne destruktu betonowego wyrażone poprzez wskaźnik *CBR*.



Rys. 8. Wyniki zmiany wskaźnika *CBR* i wskaźnika porowatości

## 5. Wnioski

W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości fizycznych oraz kalifornijskiego wskaźnika nośności *CBR* dla gruntu antropogenicznego, jakim jest destruktu betonowy. Otrzymane wyniki i ich analiza prowadzą do następujących wniosków:

- Destruktu betonowy jest materiałem o wysokim wskaźniku nośności *CBR*. Zgodnie z Wymaganiami Technicznymi WT-4 materiał, który charakteryzuje się wartością *CBR* większą niż 40% może być zastosowany jako podłoże ulepszone, większa niż 60% – jako podbudowa pomocnicza oraz większa niż 80%

- jako podbudowa zasadnicza. Destrukt betonowy, zagęszczony metodą zmodyfikowaną przy wilgotności optymalnej, którego wartość *CBR* wynosiła ponad 90% spełnia wymogi stawiane gruntem budowlanym, wbudowywanym w warstwy podbudowy.
- Wykonane badania *CBR* pozwoliły na scharakteryzowanie czynników wpływających na wartość wskaźnika *CBR*. Destrukt betonowy zachowuje się podobnie jak grunt naturalny, reagując na zmiany wskaźnika porowatości, wilgotności czy energii zagęszczenia.
- Destrukt betonowy charakteryzuje się niskim zagęszczeniem na powierzchni próbki. Z tego powodu penetracja tłoka w głąb próbki na głębokość równą 2,5 mm daje dużo niższe wartości wskaźnika *CBR* niż przy penetracji tłoka na głębokość równą 5,0 mm. Ponadto, kruszenie się destruktu betonowego powoduje pod powierzchnią tłoka powstawanie bardziej zagęszczonej warstwy gruntu, która pochodzi z pokruszonych ziaren.
- Wzory (1), (2) i (3) mogą być zastosowane w praktyce inżynierskiej przy obliczaniu wartości kalifornijskiego wskaźnika nośności *CBR* w zależności od zmiennych właściwości fizycznych badanego gruntu.
- Destrukt betonowy może być rozważany jako kruszywo zastępcze przy konstruowaniu dolnych warstw konstrukcji drogowej. Właściwości mechaniczne destruktu betonowego określone na podstawie wskaźnika *CBR* nie odbiegają od gruntów naturalnych.

### Literatura

- Aurstad J., Berntsen G., Petkovic G. (2006). Evaluation of unbound crushed concrete as road building material – Mechanical properties vs. field performance. W: *Proc. 26th International Baltic Road Conference*, Kuressaare, Estonia.
- Deshpande Y.S., Hiller J.E. (2011). Pore characterization of manufactured aggregates: recycled concrete aggregates and lightweight aggregates. *Materials and Structures*, Vol. 45 (1), 67-79.
- Edil T.B., Tinjum J.M., Benson C.H. (2012). Recycled unbound materials. TPF-5 (129) *Final Report. MNDOT, MN, USA*.
- Gee K.K. (2007). Use of recycled concrete Pavement as Aggregate in Hydraulic-Cement. *42 Concrete Pavement. FHWA Publication-T 5040.37. US Department of Transportation*.
- Kabziński A. (2012). Prognoza zapotrzebowania i produkcji kruszyw w Polsce w latach 2012–2020. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 45 (6), 84-89.
- Krezel Z.A., McManus K. (2000). Recycled aggregate concrete sound barriers for urban freeways. *Waste Management*, Vol. 31, 884-892.
- Li X. (2008). Recycling and reuse of waste concrete in China Part I. Material behaviour of recycled aggregate concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 53, 36-44.
- Naziemiec Z., Gawenda T. (2006). Ocena efektów rozdrabniania surowców mineralnych w różnych urządzeniach kruszących. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, Konferencje 115 (46), 83-94.
- Paranavithana S., Mohajerani A. (2006). Effects of Recycled Concrete Aggregates on Properties of Asphalt Concrete. *Resource, Conservation and Recycling*, Vol. 48, 1-12.
- Petkovic G., Engelsen C.J., Haoya A.O., Breedveld G. (2004). Environmental impact from the use of recycled materials in road construction: method for decision making in Norway. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 42, 249-264.
- Poon C. S., Chan D. (2006) Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base. *Construction and Building Materials*, Vol. 20, 578-585.
- Sas W., Głuchowski A., Szymański A. (2014). Cyclic behavior of recycled concrete aggregate improved with lime and gypsum addition. W: *Proc. 4th International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment*, Vol. 1 Brisbane, Australia, 196-201.
- WT – 4: Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych. GDDKiA.
- Zabielska-Adamska K. (2008). Laboratory compaction of fly ash and fly ash with cement additions. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 151, 2-3, 481-489.
- Zabielska-Adamska K., Sulewska M.J. (2009). Neural Modeling of CBR values for compacted Ely Ash. *17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering “The Academia Practice of Geotechnical Engineering ICSMGE, Alexandria, Egipt, 781-784*.

### CAPACITY OF ROAD SUBBASE FROM RECYCLED CONCRETE AGGREGATE BASED ON CBR TEST RESULTS

**Abstract:** Recycled Concrete Aggregate (RCA) is a material created from reclaimed concrete debris. RCA was deposited on landfills. Nowadays, demand of natural aggregates leads to searching of new sources of aggregates which are useable for construction. RCA is characterised by high strength nevertheless, but some of physical and mechanical properties still need to be highlighted. Such uncertainty often discourages engineers to use this material. In the paper the results of Californian Bearing Ratio (*CBR*) tests performed on RCA samples was presented. Studies was preceded by analysis of physical properties. The *CBR* tests were performed for RCA in optimum moisture, air-dry and soaked conditions. Low compaction energy occurrence was also considered.