

## WPLYW MATERIAŁÓW GEOSYNTETYCZNYCH NA STATECZNOŚĆ PODTORZA KOLEJOWEGO

---

Ewelina Kwiatkowska

Mgr inż., Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Instytut Inżynierii Lądowej, e-mail: ewelina.kwiatkowska@pwr.wroc.pl, tel.: 691 416 230

---

*Streszczenie. Przeprowadzono serię testów laboratoryjnych materiałów geosyntetycznych stosowanych w podtorzu kolejowym. Analizie poddano geowłókniny i maty podtorzowe określając ich wpływ na odkształcenia pionowe badanych próbek niesortu. Przeprowadzone badania wykazały znaczący wpływ zastosowanych materiałów geosyntetycznych na odkształcenia pionowe poddanych analizie próbek niesortu granitowego.*

*Słowa kluczowe: podtorze, geosyntetyki*

### 1. Wprowadzenie

Przeprowadzone badania miały na celu wykazanie wpływu stosowania materiałów geosyntetycznych na stateczność podtorza kolejowego. Podtorze kolejowe zbudowane jest z warstwy ochronnej leżącej na gruntach podłoża naturalnego lub nasypach, poddane obciążeniu. Traktowane jest jako półprzestrzeń liniowo, nieodwracalnie-odkształcalna, przy prędkości odkształcenia [ $V = 0$ ]. Wbudowywane geosyntetyki w podtorze w celu wzmocnienia jego konstrukcji jako materiały sprężyste, poddane powtarzalnemu obciążeniu odkształcają się sprężysto, przy czym zmiana odkształceń ma charakter sinusoidalny. Ta różnica w sposobie odkształcenia geosyntetyki i gruntu (sprężysta-liniowa nieodwracalna) ma zdecydowany wpływ na sumaryczną wielkość odkształcenia zniekształcając parametr, którym jest moduł odkształcenia wtórnego  $E_{v2}$  w kierunku malejącym, nawet o 30%. Podobnie wskaźnik odkształcenia –  $I_0$  wykazuje propagację w kierunku rosnącym co miałyby wskazywać na brak wymaganego zagęszczenia.

Zmniejszenie wartości modułu odkształcenia  $E_{v2}$  i wzrost wartości wskaźnika odkształcenia nie świadczy o pogorszeniu nośności podtorza. Sprawdzone i potwierdzone to zostało w terenie cyklicznymi próbnymi obciążeniami warstwy ochronnej podtorza z wbudowanym materiałem geosyntetycznym.

Wykonana praca badawcza oraz jej kontynuacja powinna udoskonalać i uściślić metody badań podtorza wobec wymagań zawartych w instrukcji Id3 w stosunku do stosowanych nowoczesnych technologii budowy i metody projektowania z wykorzystaniem geosyntetyków w podtorzu. Umiejętny dobór paramentów

materiałów geosyntetycznych stosowanych na liniach kolejowych umożliwi wydłużenie okresów międzynaprawczych linii kolejowych. W wyniku tego nastąpi zmniejszenie kosztów napraw linii i utrzymanie prędkości projektowej bez potrzeby wprowadzenia ograniczeń wywołanych obniżeniem parametrów technicznych drogi szynowej. Przeprowadzone badania stanowią nowatorskie ujęcie zagadnienia badań laboratoryjnych wpływu stosowania materiałów geosyntetycznych na nośność i trwałość podtorza.

## 2. Zakres badań

W ramach przeprowadzonej pracy badawczej zostały przeprowadzone badania dwóch typów geowłóknin i mat podtłuczniowej. Mają one na celu analizę porównawczą dostępnych materiałów geosyntetycznych i mat podtłuczniowych, w celu opracowania technologii budowy i metody projektowania podtorza kolejowego z wykorzystaniem innowacyjnych materiałów. W ramach pracy badawczej zostanie przeprowadzona analiza cech fizykomechanicznych kruszyw łamanych wykorzystywanych do budowy podtorza przy równoczesnym zastosowaniu geosyntetyków i mat podtłuczniowych w podtorzu kolejowym.

W przeprowadzonych badaniach określono parametry niezbędne do projektowania podtorza z zastosowaniem innowacyjnych materiałów na liniach kolejowych wysokich prędkości. Badania dotyczyły konstrukcji podtorza, w której stosuje się materiały geosyntetyczne w postaci geowłóknin separacyjnych i wibroizolacji w postaci mat podtłuczniowych. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem nie stosowanej dotychczas metody badawczej wpływu geosyntetyków na nośność podtorza kolejowego, a w wyniku tego na stateczność konstrukcji nawierzchni kolejowej.

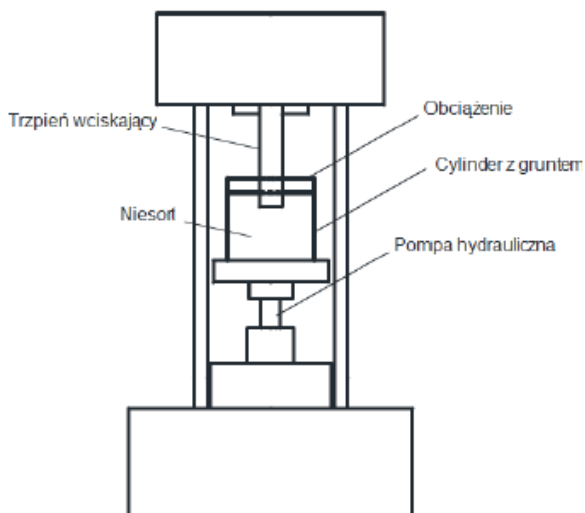
Przeprowadzone badania umożliwią pozyskanie wiedzy o technologii budowy i metodzie projektowania materiałów geosyntetycznych i mat podtłuczniowych w podtorzu kolejowym. Stworzą możliwości projektowania i budowy linii kolejowych z wykorzystaniem geosyntetyków do stabilizacji podtorza kolejowego i mat podtłuczniowych w celu tłumienia drgań generowanych przez pojazd szynowy. Racjonalne zastosowanie innowacyjnych materiałów na modernizowanych liniach kolejowych i nowobudowanych kolejach wysokich prędkości poprawi bezpieczeństwo podróżujących koleją i zmniejszy szkodliwe oddziaływanie na środowisko na terenach położonych przy liniach kolejowych poprzez zmniejszenie generowanego hałasu. Spowoduje wydłużenie okresów międzynaprawczych, zmniejszając deformacje pionowe i poziome toru kolejowego.

### 3. Metoda badawcza geowłókniny i wibroizolacji umieszczonych w podtorzu kolejowym

W pracy zastosowano metodę badawczą wykorzystującą urządzenie do wyznaczania oporu penetracji zaprezentowane na rysunku 1. Do badań materiałów wibroizolacyjnych wykorzystano zmodyfikowaną metodę badawczą opracowaną na podstawie PN-S-06102;1997 „Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie” w zakresie wyznaczania wskaźnika nośności gruntu.

Metoda badawcza składała się z aparatury badawczej, którą stanowiło urządzenie zbudowane z trzpienia wciskającego o średnicy 50 mm i pompy hydraulicznej pracującej w zakresie od 0 kN do 25 kN (fot. 1). Przeprowadzono badania w jednym, normowym trybie pracy pompy hydraulicznej o prędkości obciążania wynoszącej 1,25 mm/min. Zgodnie z PN-S-06102;1997 badania wskaźnika nośności gruntu przeprowadzono z normową próbką niesortu bazaltowego. Badanie niesortu stanowiło próbkę porównawczą prowadzonych pomiarów. Następnie opracowano metodę badawczą umożliwiającą ocenę wpływu geosyntetyków w postaci geowłókniny i wibroizolacji na nośność nawierzchni kolejowej przy zastosowaniu wskazanych materiałów. Zastosowana modyfikacja opisanej w PN-S-06102;1997 metody badawczej polegała na ułożeniu w środkowej części cylindra pomiarowego warstwy geowłókniny lub wibroizolacji.

#### Urządzenie do wyznaczania oporu penetracji próbka porównawcza- niesort

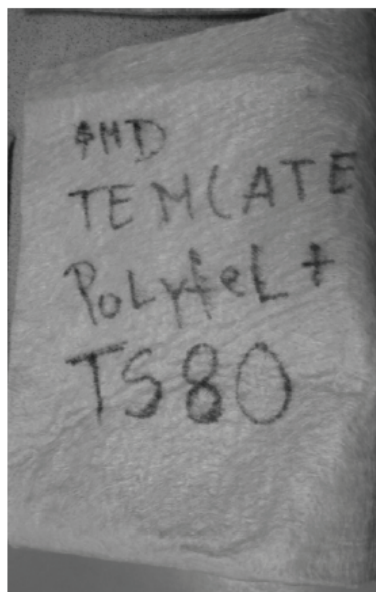


Rys. 1. Schemat normowego stanowiska badawczego do wyznaczenia wskaźnika nośności dla niesortu bez geowłókniny, jako układu porównawczego



*Fot. 1. Widok stanowiska badawczego niesortu bez geowłókniny separacyjnej*

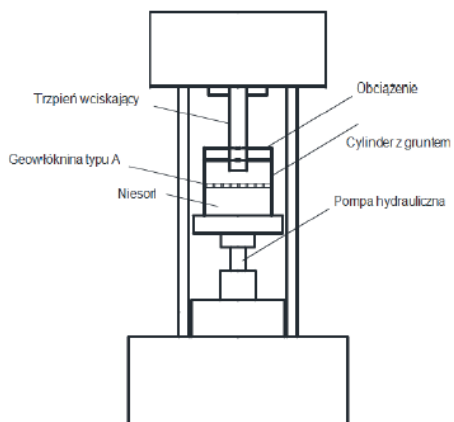
Po przeprowadzeniu badań nośności niesortu wykonanych na próbce zagęszczonej do poziomu  $I_s = 1.00$ , przeprowadzono badania dwóch rodzajów geowłókniny typu grubego odznaczonej jako A - Polyfelt TS 30 i cienkiego oznaczonej jako B Polyfelt TS 80 (rys. 2) W testowanej metodzie badawczej wpływu geowłókniny separacyjnej (fot. 2) na nośność gruntu zastosowano schemat badawczy zaprezentowany na rysunku 2.



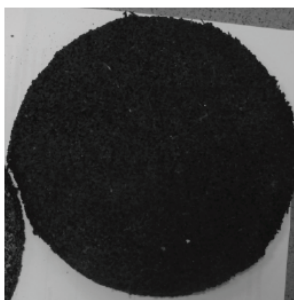
*Fot. 2. Geowłóknina typu B Polyfelt TS 80 zastosowana w badaniach nośności gruntu w badaniach laboratoryjnych*

## Urządzenie do wyznaczania oporu penetracji

niesort wraz z geowłókniną typu A



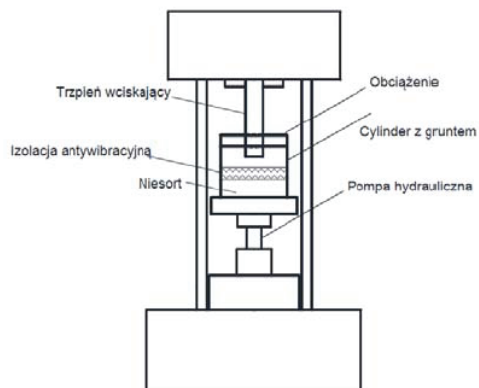
Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego niesortu z geowłókniną typu A Polyfelt TS 80



Fot. 5. Wibroizolacja zastosowana w badaniach nośności gruntu w badaniach laboratoryjnych, grubość 10 mm

## Urządzenie do wyznaczania oporu penetracji

niesort wraz z izolacją atywibracyjną



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego niesortu z wibroizolacją

Badane próbki, w celu zapewnienia prawidłowej pracy urządzenia do wyznaczenia oporu penetracji i rejestracji wyników, były obciążane stalowym krążkiem ułożonym na warstwie niesortu w górnej części cylindra. Zastosowanie obciążenia prezentuje fot. 4.



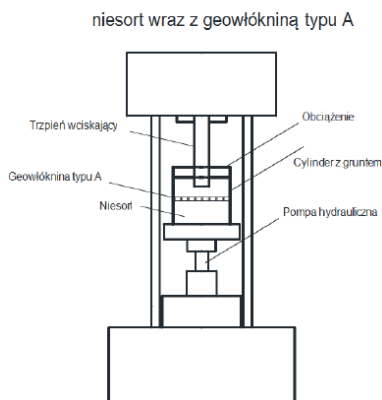
Fot. 4. Cylinder z niesortem wraz z krążkiem obciążającym

#### 4. Badanie materiałów geosyntezy i wibroizolacyjnych umieszczonych w niesorcie w warunkach laboratoryjnych

Do wyznaczenia charakterystyki wytrzymałościowej badanych materiałów geosyntezy, umieszczonych w gruncie wykorzystano zmodyfikowaną metodę badań wskaźnika nośności gruntu wg PN-S-06102: 1997 „Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszywa stabilizowanego mechanicznie”. Badania wykonano na prasie L-1/M-1/1. Próbkę były umieszczone w stalowym cylindrze o średnicy  $\phi = 125$  mm i wysokości  $h = 125$  mm.

Cylindry były wypełnione niesortem granitowym o  $\phi = 125$  mm do wysokości 70 mm, następnie układano badany materiał i przekrywano go warstwą niesortu o grubości 50 mm. Próbkę obciążano trzpieniem o średnicy 50 mm (rys. 4).

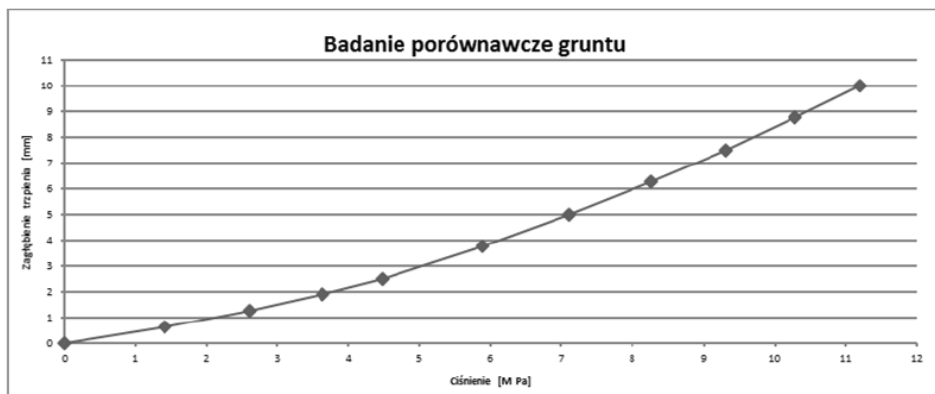
Urządzenie do wyznaczania oporu penetracji



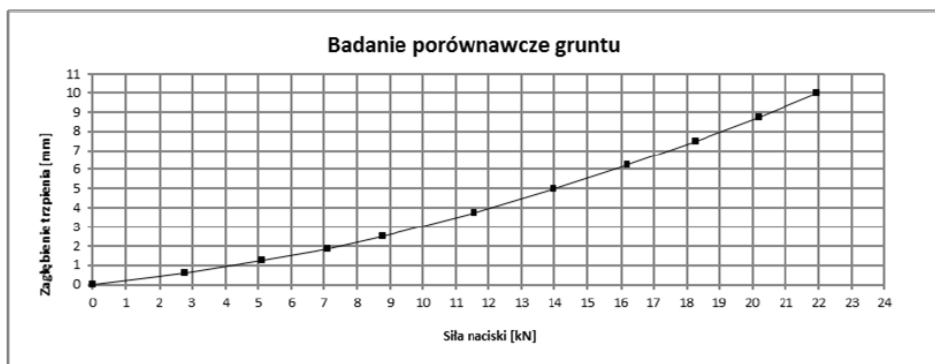
Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego niesortu z geowłókną typu A Polyfelt TS 80

Realizowano zakres obciążeń wynoszący do 22 kN. Ciśnienie tłoka na powierzchni próbki sięgało 11 MPa, a na powierzchni materiału badanego przy założeniu rozchodzenia się ciśnień w gruncie pod kątem  $45^\circ$  wynosiło do 0,55 MPa.

Pierwsze badanie przeprowadzono jako porównawcze dla próbki samego niesortu bez materiału geosyntetycznego; wyniki przedstawiono na rysunku 5. Trzpień w badanej próbce zagłębił się do wartości 10 mm przy sile 22 kN.



Rys. 5. Wyniki badania wskaźnika nośności próbki niesortu granitowego  $\phi = 125$  mm bez materiału geosyntetycznego



Rys. 6. Wyniki badania wskaźnika nośności próbki niesortu granitowego  $\phi = 125$  mm bez materiału geosyntetycznego, zagłębienia tłoka w zależności od zadanej siły nacisku



Fot. 5. Wynik badania niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm bez materiału geosyntetycznego

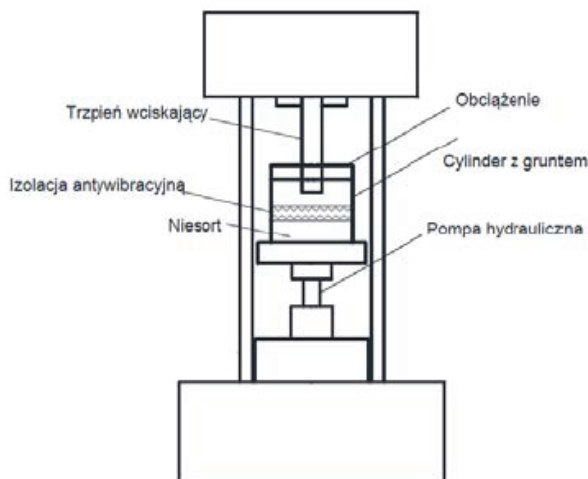
Wskaźnik konsolidacji próbki (wsp. podłoża) bez materiału geosytycznego wynosi:

$$c_{\sigma} = \frac{\Delta p}{\Delta y} = \frac{0,55 [MPa]}{0,01[m]} = 55 MPa/m \quad (1)$$

Następnie badaniu poddano trzy typu materiałów geosytycznych: geowłókninę Polyfelt TS 80 oznaczoną jako typ A i geowłókninę Polyfelt TS 30 oznaczoną jako typ B oraz izolację antywibracyjną z granulatu gumowego o grubości 12 mm. Materiały zostały ułożone w badanej próbce gruntu (rys. 4).

Drugim etapem przeprowadzonych badań było ułożenie w stalowym cylindrze izolacji antywibracyjnej na 50 mm warstwie niesortu, a następnie zasypanie warstwą niesortu do poziomu normowego (rys. 7).

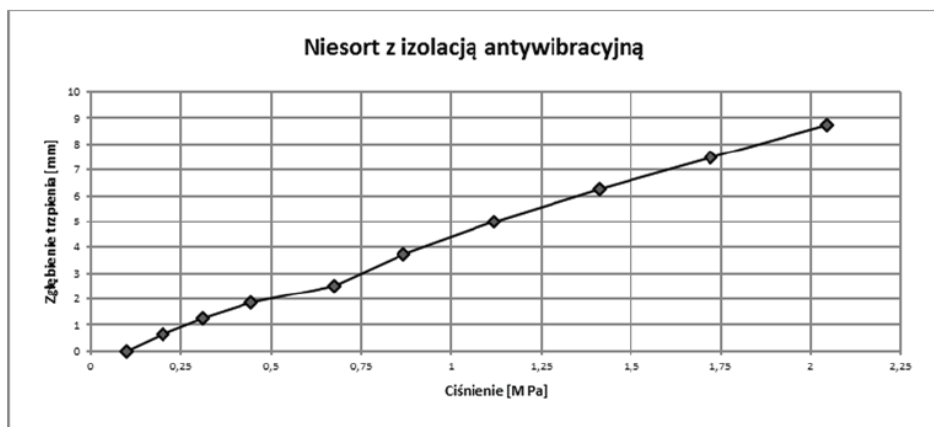
Urządzenie do wyznaczania oporu penetracji  
niesort wraz z izolacją atywibracyjną



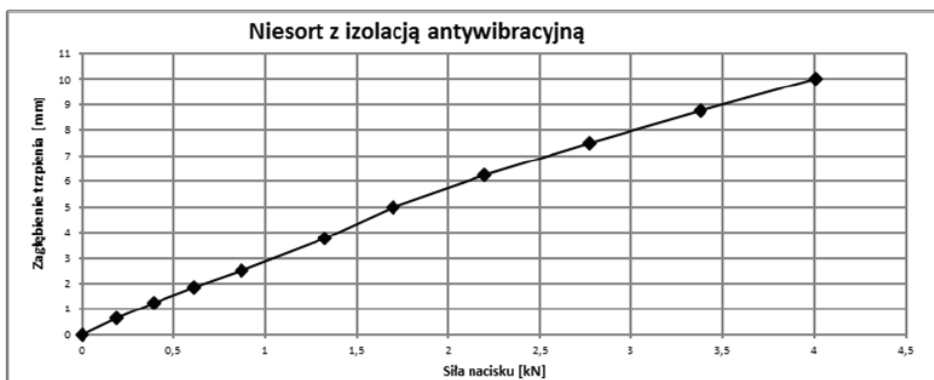
Rys. 7. Schemat ułożenia materiału izolacji antywibracyjnej w badanej próbce niesortu

Przyrost zagłębienia trzpienia w wyniku przyłożonego obciążenia wykazuje cechy zmienności liniowej (rys. 8). Trzpień zagłębił się na 8,7 mm przy sile  $F_2 = 4$  kN. W porównaniu z próbką porównawczą (rys. 6), gdzie  $F_1 = 22$  kN, wartość siły jest pięciokrotnie mniejsza a odkształcenie porównywalne. Zastosowanie izolacji antywibracyjnej w postaci maty podtłuczniowej powoduje powstawanie większych odkształceń pionowych warstwy niesortu.





Rys. 8. Wyniki badania wskaźnika nośności próbki niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm z materiałem izolacji antywibracyjnej w funkcji ciśnienia



Rys. 9. Wyniki badania wskaźnika nośności próbki niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm z materiałem izolacji antywibracyjnej w funkcji siły

Wyniki badania przeprowadzonego na próbce z izolacją antywibracyjną przedstawia fot. 6. Po usunięciu warstwy niesortu izolacja antywibracyjna nie posiadała widocznych uszkodzeń (fot. 7).



Fot. 6. Wynik badania niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm z materiałem izolacji antywibracyjnej



Fot. 7. Wynik badania niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20 \text{ mm}$  z izolacją antywibracyjną po usunięciu warstwy niesortu

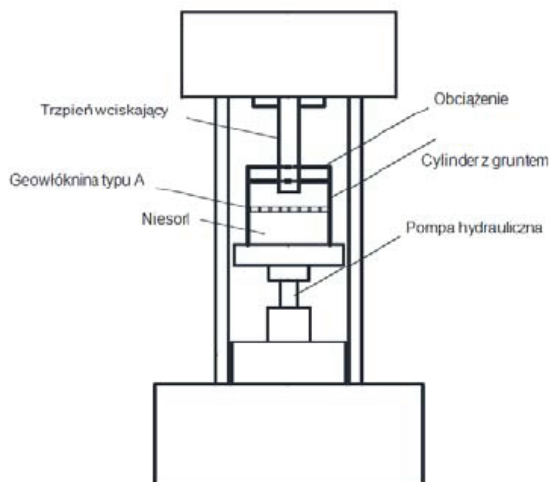
Wskaźnik konsolidacji próbki z materiałem izolacji antywibracyjnej wynosi:

$$c_i = \frac{\Delta p}{\Delta y} = \frac{0,1 \text{ [MPa]}}{0,01 \text{ [m]}} = 10 \text{ MPa/m} \quad (2)$$

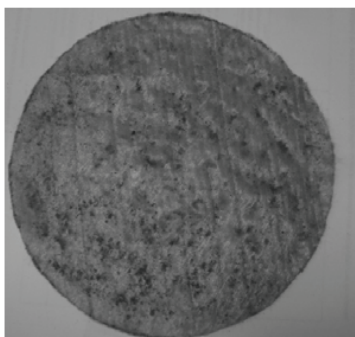
Trzecim etapem przeprowadzonym badaniem było ułożenie w stalowym cylindrze geowłókniny typu A Polyfelt TS 30 na 50 mm warstwie niesortu, a następnie zasypanie warstwą niesortu do poziomu normowego (rys. 10).

Urządzenie do wyznaczania oporu penetracji

niesort wraz z geowłókniną typu A

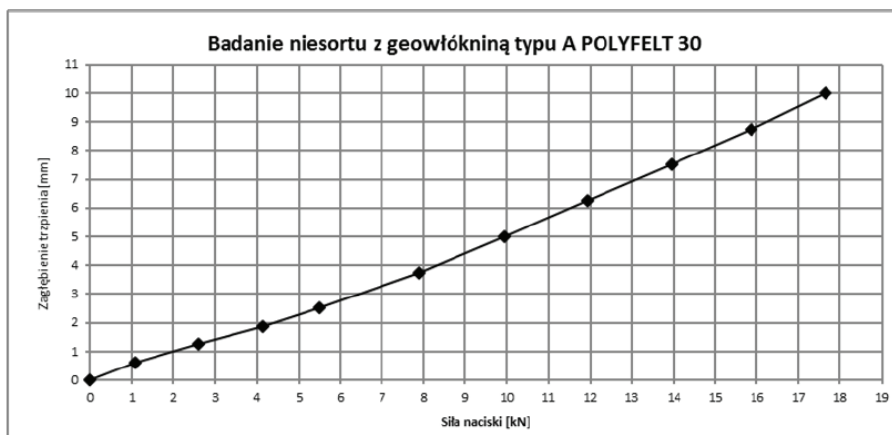


Rys. 10. Schemat ułożenia materiału geowłókniny typu A Polyfelt TS 30 w badanej próbce niesortu

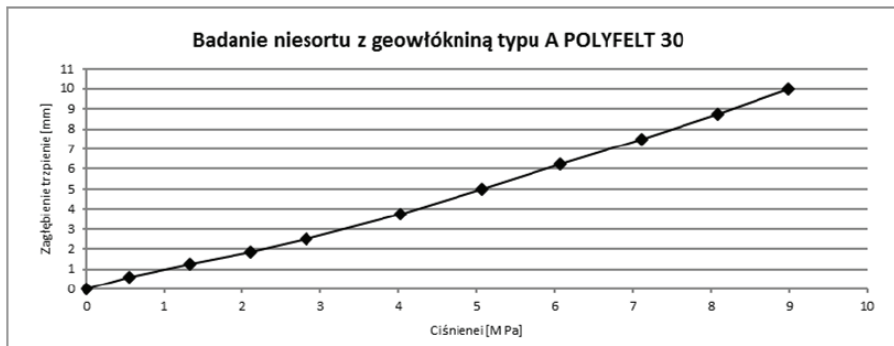


Fot. 8. Geowłóknina typu A Polyfelt TS 30 po przeprowadzonym badaniu

Przyrost zagłębienia trzpienia w wyniku przyłożonego obciążenia wykazuje cechy zmienności liniowej (rys. 11). Trzpień zagłębił się na 10 mm przy sile  $F_3 = 9,2$  kN. W porównaniu z próbką porównawczą (rys. 6)  $F_1 = 22$  kN, wartość siły jest dwukrotnie mniejsza. Zastosowanie geowłókniny typu A Polyfelt TS 30 wpływa w bardzo dużym stopniu na odkształcenia pionowe warstwy niesortu.



Rys. 11. Wyniki badania wskaźnika nośności próbki niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm z geowłókniną typu A Polyfelt TS 30 w funkcji siły

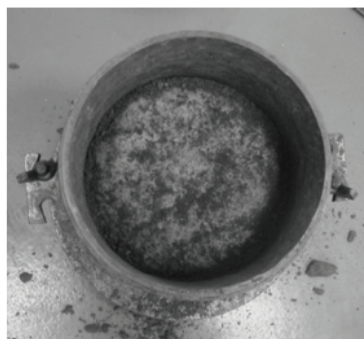


Rys. 12. Wyniki badania wskaźnika nośności próbki niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm z geowłókniną typu A Polyfelt TS 30 w zależności od ciśnienia

Wyniki przeprowadzonego badania na próbce geowłókniny typu A Polyfelt TS 30 przedstawia fot. 9. Po usunięciu warstwy niesortu geowłóknina nie posiadała widocznych uszkodzeń (fot. 8 i 10). Zaobserwowane uszkodzenia charakteryzują się trwałym odcisnięciem się ziaren niesortu w materiale geowłókniny.



*Fot. 9. Wynik badania niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20 \text{ mm}$  z geowłókniną typu A Polyfelt TS 30*



*Fot. 10. Wynik badania niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20 \text{ mm}$  z geowłókniną typu A Polyfelt TS 30 po usunięciu warstwy niesortu*

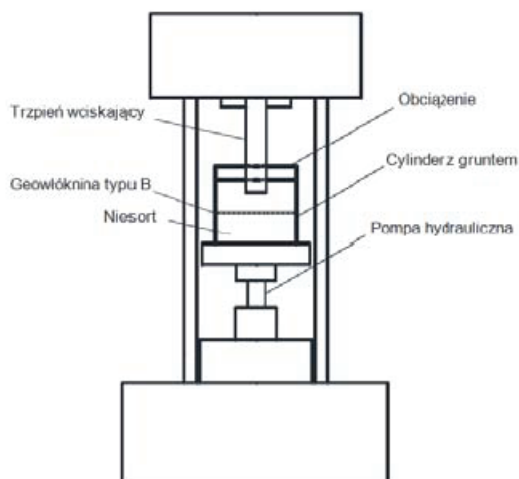
Wskaźnik konsolidacji próbki z geowłókniną typu A wynosi:

$$c_A = \frac{\Delta p}{\Delta y} = \frac{0,356 \text{ [MPa]}}{0,01 \text{ [m]}} = 35,6 \text{ MPa/m} \quad (3)$$

Czwartym etapem przeprowadzonych badań było ułożenie w stalowym cylindrze geowłókniny typu B Polyfelt TS 80 na 50 mm warstwie niesortu, a następnie zasypianie warstwą niesortu do poziomu normowego (rys. 13).

## Urządzenie do wyznaczania oporu penetracji

niesort wraz z geowłókniną typu B

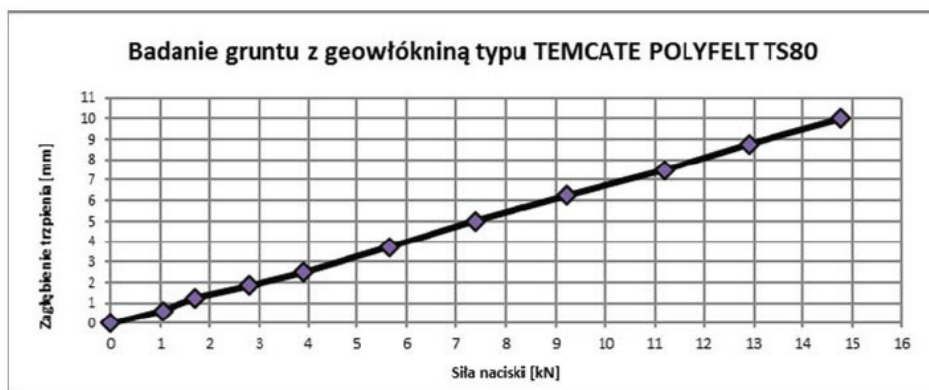


Rys. 13. Schemat stanowiska badawczego niesortu z geowłókniną typu B Polyfelt TS 80

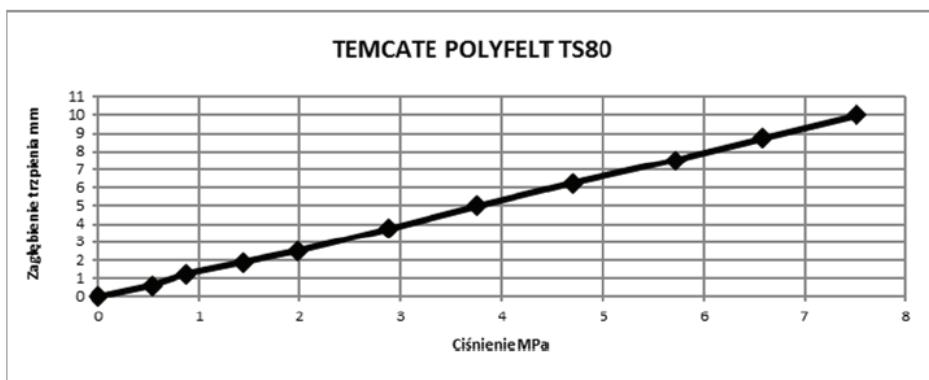


Fot. 11. Geowłóknina typu B, Polyfelt TS 80 po przeprowadzonym badaniu

Przyrost zagłębienia trzpienia w wyniku przyłożonego obciążenia wykazuje cechy zmienności liniowej (rys. 14). Trzpień zagłębił się na 10 mm przy sile  $F_3 = 14,8$  kN. W porównaniu z próbką porównawczą (rys. 6),  $F_1 = 22$  kN wartość siły jest mniejsza o 7,2 kN. Zastosowanie geowłókniny typu B Polyfelt TS 30 wpływa na szybszy przyrost odkształceń pionowych warstwy niesortu w porównaniu z próbką bez materiału geosyntetycznego.



Rys. 14. Wyniki badania wskaźnika nośności próbki niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm z geowłókniną typu B Polyfelt TS 80 w funkcji siły

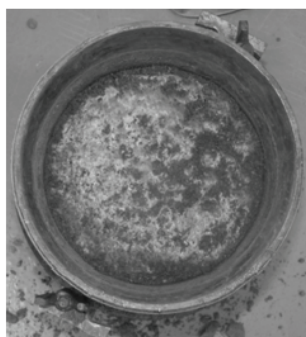


Rys. 15. Wyniki badania wskaźnika nośności próbki niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm z geowłókniną typu B Polyfelt TS 80 w funkcji ciśnienia

Wyniki przeprowadzonego badania na próbce geowłókniną typu B Polyfelt TS 80 przedstawia fot. 12. Po usunięciu warstwy niesortu, geowłóknina nie posiadała widocznych uszkodzeń (fot. 11 i 13). Zaobserwowane uszkodzenia charakteryzują się trwałym odcisnięciem się ziaren niesortu w materiale geowłókniny.



Fot. 12. Wynik badania niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm z geowłókniną typu B



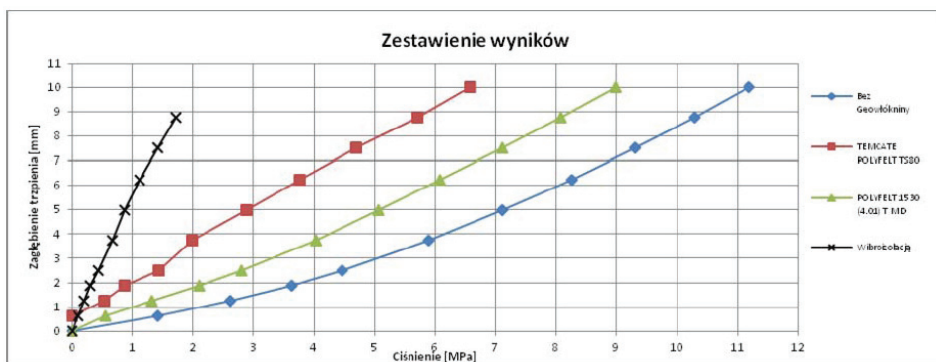
Fot. 13. Wynik badania niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm z geowłókniną typu B po usunięciu warstwy niesortu

Wskaźnik konsolidacji próbki z geowłókniną typu B wynosi:

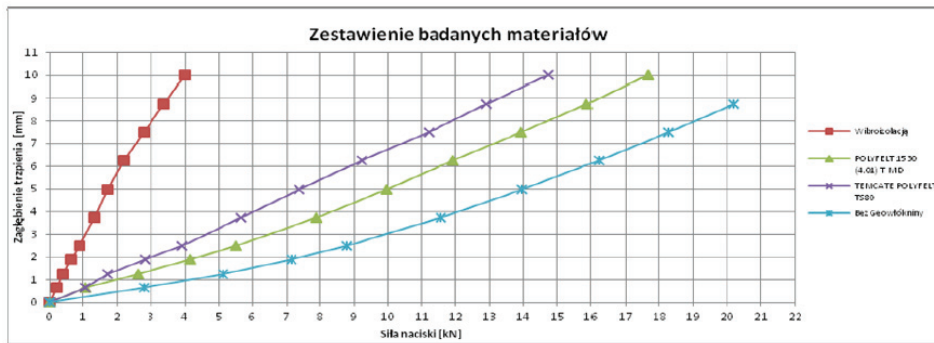
$$c_B = \frac{\Delta p}{\Delta y} = \frac{0,435 \text{ [MPa]}}{0,01 \text{ [m]}} = 43,5 \text{ MPa/m} \quad (4)$$

W ostatnim etapie prac porównano wyniki otrzymanych badań, z których wynika, że zastosowanie materiału geosyntetycznego lub antywibracyjnego ma wpływ na wartość przemieszczeń pionowych podtorza kolejowego.

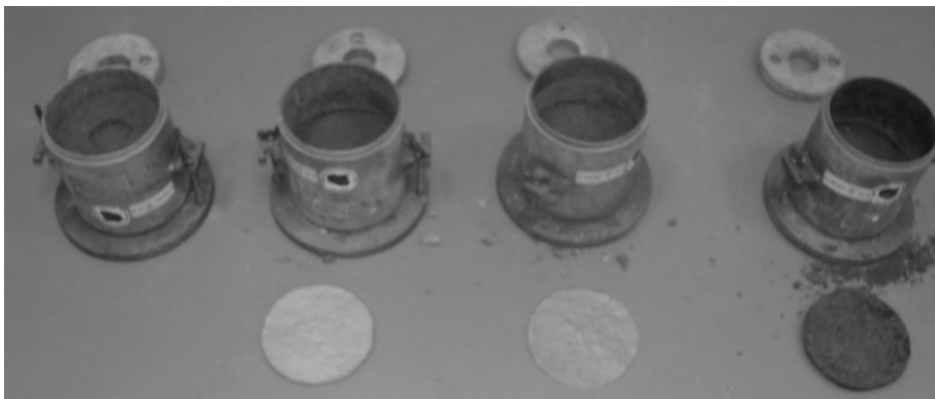
Badane próbki obciążano do uzyskania przemieszczenia równo 10 mm. Rysunek 16 przedstawia zależność wywieranego przez tłok ciśnienia na uzyskane przemieszczenie. Zakres ciśnienia potrzebnego do uzyskania przemieszczenia 10 mm wynosi od 1,8 MPa do 11,2 MPa i siły od 4 kN do 22 kN (rys. 17). Wskazany zakres zwraca uwagę na znaczący wpływ zastosowanego materiału geosyntetycznego i izolacji antywibracyjnej na stateczność konstrukcji podtorza.



Rys. 16. Zestawienie wyników badań czterech próbek, niesortu z geosyntetykami; pomiar przemieszczenia wywołanego narastającym ciśnieniem z prędkością 1,25 mm/min



Rys. 17. Zestawienie wyników badań czterech próbek, niesortu z geosyntetykami; pomiar przemieszczenia wywołanego siłą narastającą z prędkością 1,25 mm/min



Fot. 14. Badane próbki niesortu granitowego  $\phi = 0 \div 20$  mm: z od lewej próbka porównawcza, niesort z geowłókniną typu B, z geowłókniną typu A, z izolacją antywibracyjną, po usunięciu warstwy niesortu

Wyniki badań wskaźnika nośności sugerują znaczne skonsolidowanie warstwy niesortu po umieszczeniu w niej wibroizolacji:

$$C_i = 10 \text{ MPa} \ll C_o = 55 \text{ MPa/m.}$$

Stosunkowo nieduże zmniejszenie nośności próbki niesortu następuje przy zastosowaniu geowłókniny separacyjnej typu A i B:

$$C_A = 35,6 \text{ MPa/m} < C_o = 55 \text{ MPa/m,}$$

$$C_B = 43,5 \text{ MPa/m} < C_o = 55 \text{ MPa/m.}$$

Zmniejszenie parametrów nośności gruntów przy zastosowaniu geosyntetyków jest istotne z punktu widzenia projektowania i budowy górnej warstwy podtorza kolejowego i wynosi dla  $C_A$  - 35%, a w przypadku  $C_B$  - 21%.



## 5. Podsumowanie i wnioski

Badania przeprowadzono w sposób innowacyjny, nie stosowany dotychczas dla oceny właściwości fizykomechanicznych materiałów geosyntetycznych, w tym wibroizolacyjnych. Z badań wynika, że umieszczenie wibroizolacji w warstwie niesortu (gruntu podtorza kolejowego) powoduje znaczne zmniejszenie jego nośności dochodzącej do 80%. Może to dotyczyć również mat układanych bezpośrednio pod podsypką.

Umieszczenie w górnej strefie podtorza kolejowego warstw geowłókniny separacyjnej również powoduje zmniejszenie nośności torowiska, ale nie jest ono tak drastyczne, jak w przypadku wibroizolacji i wynosi od 20 do 35%.

Zmniejszenie nośności torowiska kolejowego na skutek zastosowania w górnej warstwie podtorza kolejowego materiałów geosyntetycznych w postaci geowłóknin separacyjnych wynosi ponad 20% jest to na tyle istotne, że wymaga uwzględnienia go przy projektowaniu i w procesie technologicznym budowy tej strefy podtorza.

Zakres badań ograniczono ze względów technologicznych i trudności z pozyskaniem materiałów badawczych do prezentowanego zakresu. W dalszym etapie planowanych prac badania zostaną poszerzone o badania terenowe wpływu geosyntetyków na stateczność nawierzchni kolejowej.