

	XX Polish – Russian – Slovak Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering
	Wydział Inżynierii Lądowej - Politechnika Warszawska
	Wydz. Bud. Lądowego i Wodnego - Politechnika Wrocławska
	Московский Государственный Строительный Университет
Warszawa • Wrocław 05.09. – 10.09.2011	Stavebná fakulta – Žilinská univerzita v Žiline

SYSTEM WIELOWARSTWOWEGO WZMACNIANIA GEOTEKSTYLAMI PODŁOŻA NAWIERZCHNI DRÓG

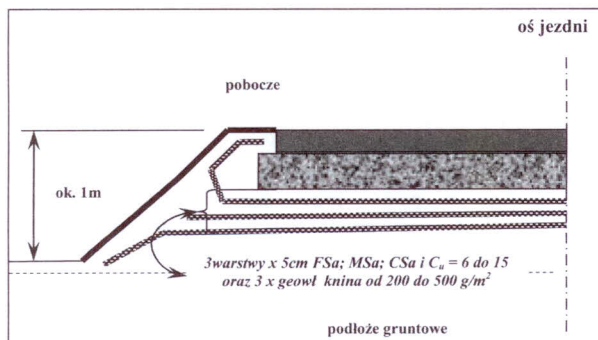
Krzysztof Gradkowski*

1. Wstęp

Gruntowe podłoża nawierzchni dróg należą do niewralgicznych stref współpracy materiałów o różnych własnościach fizyko mechanicznych. W dotychczasowej praktyce inżynierskiej w podłożach nawierzchni dróg samochodowych geosyntetyki w formie geotekstylii stanowiących geowłókniny są stosowane przede wszystkim, jako warstwy izolujące i separujące dwa rodzaje gruntów lub kruszyw gruntowych warstw sąsiednich. W podłożach obiektów drogowych i podłożach nawierzchni drogowej geotekstylia w pojedynczym ułożeniu spełniają głównie rolę warstwy filtrującej i drenażowej. Znacznie więcej doświadczeń w stosowaniu geosyntetyków zebrano w zakresie gruntów zbrojonych konstrukcji nasypów, podłożu nasypów z „materacami”, przyczółków obiektów mostowych, stromych skarp budowli ziemnych i ścian oporowych, a także form drenaży. Tylko w pewnych przypadkach, na przykład w niektórych metodach obliczeniowych stateczności skarp można uwzględnić bezpośrednio fakt zastosowania geotekstylii. Stanowi to bezpośredni sposób do zastosowaniu w projektowaniu[1]. Wzmacniająca i zbrojąca grunty funkcja geosyntetyków w podłożach gruntowych, jest rozpoznawalna, lecz nie dla wszystkich sposobów ich zastosowania w pełni opracowana. W założeniach, dotyczy gruntów piaszczystych w stanach sybkich i mało spoistych o zbliżonych parametrach geotechnicznych podobnych do parametrów gruntów przeznaczonych do ulepszania spoiwami hydraulicznymi. Oczekuje się nawet, że zastosowanie geosyntetyków do zbrojenia gruntów podłożu będzie konkurencyjne w stosunku do form stabilizacji spoiwami. Pomimo postępujących prac badawczych w tym zakresie problem ten wymaga dalszych badań i opracowań, bowiem nie istnieją ściśle procedury postępowania ani formuły analityczne pozwalające na jednoznaczne określenie skuteczności konstrukcyjnej wzmacniania gruntów geosyntetykami, jako zbrojenia poziomego zwanego też planarnym. W praktyce podstawowym parametrem wzmocnienia podłoża nawierzchni jest uzyskanie wymaganych modułów odkształcenia E_1 i E_2 z połowego pomiaru typu VSS . Jednak dotychczasowe pomiary w tym zakresie nie wskazały na uzyskiwanie pewnych i zadawalających rezultatów.

*) Krzysztof Gradkowski, Dr Eng., Warsaw Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Transportations Engineering, Al. Armii Ludowej 16, 00-637, Warsaw, Poland. Phone: +48 22 234 6461, Fax: +48 22 825 89 46, E-mail: k.gradkowski@il.pw.edu.pl

W pracy [2] przedstawiono niedawno uzyskane wyniki pomiarów odkształcalności warstw modelowych gruntów wzmacnianych geosyntetykami. Wyniki te stwarzają przesłanki do dalszych kierunków badań i testów, jednak nie rozstrzygają całkowicie o pełnym zastosowaniu tego rodzaju zbrojenia gruntów w podłożach nawierzchni drogowej. Planarne zbrojeniem geotekstyliami może być jednoznacznie ustalone jedynie na podstawie pomiarów zastosowania w przekrojach o pełnej skali technicznej. Postępujące prace badawcze w tym zakresie i wyniki doświadczeń pozwalają jedynie na dostarczenie odpowiedniego materiału porównawczego wpływającego na odpowiednie decyzje projektantów, którzy obok uwzględnienia parametrów właściwości technicznych samego produktu geotekstylnego oraz przewidywanych rodzajów gruntów, mogą przedstawić rozwiązania z dodatkowymi zaletami wykorzystania poziomych warstw geotekstylii. Prace doświadczalne na poligonowych modelach podłoży gruntowych, zreferowane w pracy [2], pozwoliły na ustalenie wzmacniającej i zbrojącej funkcji warstw geotekstylnych w gruntowym podłożu nawierzchni. Zmiany odkształcalności różnych modeli gruntowych warstw podłoży nawierzchni pozwoliły także na wskazanie technicznego sposobu zastosowania geotekstylii jako kilkuwarstwowego zbrojenia wzmacniającego, według schematu rys.1. Rozwiązanie to nie zostało jeszcze zweryfikowane w praktyce wykonawczej. Jest to nowe zastosowanie geotekstylii do wzmocnień podłoży nawierzchni dróg, które w równym stopniu może być wykorzystane zarówno do wzmocnienia podłoży dróg samochodowych jak i dróg szynowych, czy też podłoży fundamentowych budynków. Podaż geosyntetyków na rynku materiałów budowlanych wzrasta w związku ze wzrostem zakresu ich zastosowań co rokuje ich kolejne redukcje cen. W ostatnim okresie zostały opublikowane wyniki kilku prac badawczych [2],[3],[4] i [5], które w pełni potwierdzają zaproponowane rozwiązanie techniczne. Są to dodatkowe i ważne argumenty przemawiające za tym, aby sposób wielowarstwowego wzmocnienia geotekstyliami o niskich gramaturach, podłoży gruntowych zyskał uznanie projektantów dróg i zastosowania praktycznego.

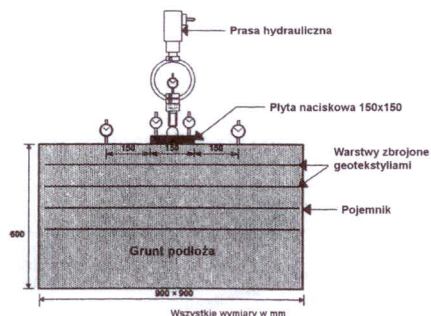


Rys. 1. Wielowarstwowe wzmocnienie podłoża nawierzchni drogowej
Fig. 1. Multi – layered geotextiles system of roads subbase improvement

Przytoczone poniżej badania wskazują, że wymaganą jakość całego układu konstrukcyjnego nawierzchni drogi samochodowej w tym i podłoża nawierzchni, można uzyskać wykorzystując nie tylko tradycyjne spoiwa hydrauliczne. Stąd też zreferowanie tych wyników prac badawczych ma nie bagatelne znaczenie dla uzyskania ważnych argumentów i wskazań, co do skuteczności ewentualnych rozwiązań technicznych stosowanych przez projektantów.

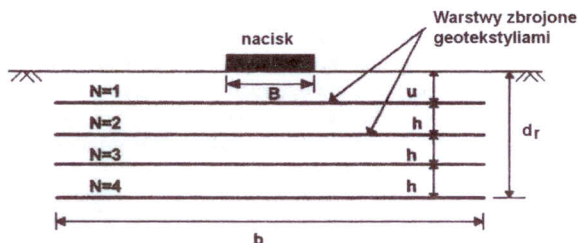
2. Badania warstwowych modeli podłoża gruntowych zbrojonych geosyntetykami

W kontekście proponowanych rozwiązań według rys.1, na szczególną uwagę zasługują badania zreferowane w pracy [3], gdzie przedstawiono wykonanie kilkanaście serii testów na stanowisku pomiarowym zestawionym według rys.2. Badania te odnoszą się do pewnych modeli o skali laboratoryjnej, gdzie zarówno wskaźniki zagęszczenia, jak i wilgotności mają wtórne znaczenie bowiem odnoszą się do piaszczystych gruntów w stanie nie naturalnym. Na sztywną, kwadratową płytę stalową było przekazywane obciążenie statyczne za pomocą układu hydraulicznego.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego [3]
Fig. 2. Scheme of measurement stand [3]

Odpowiadający schemat układu zbrojenia podłoża gruntowego warstwami geosyntetyków stanowiących geotekstylie różnych gramatur, prezentuje rys.3. Grunt modelu podłoża wypełniający pojemnik metalowy o pojemności ok. $0,5\text{m}^3$ stanowił jeden rodzaj piasku – FSa , $\rho = 1,56\text{ g/cm}^3$ był wielokrotnie napełniany i jednolicie zagęszczany przy zmiennej ilości warstw zbrojenia geosyntetykami. Osiedzenia poszczególnych układów warstw były mierzone przez cztery czujniki, a następnie uśredniane. Pomierzone wielkości fizyczne osiadań i naprężeń na poszczególne wykresach wyników są odniesione do jednostek bezwymiarowych, czyli u/B , h/B , b/B i d_r/B . Dodatkowo, stosunek d_r/B określono, jako współczynnik głębokości zbrojenia podłoża gruntowego I_R .



Rys. 3. Układ warstw geotekstylie w modelu pomiarowym [3]
Fig. 3. Geotextiles multi layer system of measurements [3]

Przy czym

$$d_r = u + (N-1)h \quad (1)$$

gdzie;

d_r – całkowita głębokość strefy zbrojenia warstwami geotekstylii, [mm]

u – głębokość ułożenia pierwszej warstwy geotekstylii, [mm]

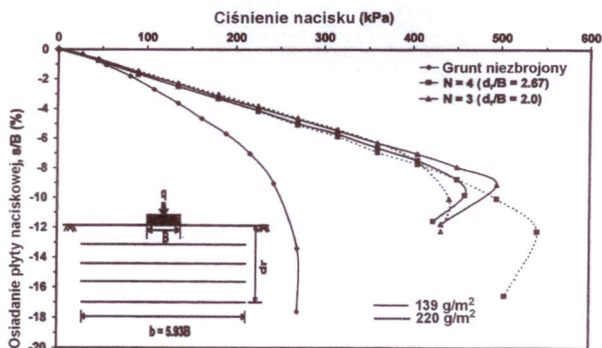
N – ilość warstw geotekstylii, [-]

h – odległości ułożenia poszczególnych warstw geotekstylii, [mm]

b – szerokość ułożenia warstw geotekstylii, [mm],

B – wymiar kwadratowej płyty naciskowej, [mm]

Spśród wielu zestawień i wykresów wyników uzyskanych w testach obciążeń, za bardzo znamienne i potwierdzające słuszność zaproponowanego rozwiązania wzmocnienia podłoża nawierzchni drogowych przy pomocy kilku warstw geotekstylii, należy przytoczyć wyniki pomiarów obejmujących zmiany osiadania płyty obciążającej pokazane na rys.4 i 5.



Rys. 4. Osiadania płyty naciskowej z różną ilością warstw zbrojenia geosyntetykami [3]

Fig. 4. Settlement of the pressure plate and number of geotextiles layer [3]

Różnice w zakresach osiadań, przedstawione na rys.4. wyraźnie wskazują na wzmacniającą funkcję trzech i czterech warstw geotekstylii w stosunku do osiadań gruntu nie zbrojonego. Znacznie mniej wyraźne są różnice w osiadaniach układów o tej samej ilości warstw geotekstylii o gramaturach 139 g/m² i 220 g/m². Z wykresu na rys.4 wynika też, że efekt wzmocnienia mierzony zakresem osiadania układu podłoża pod naciskiem może być zwiększony poprzez stosowanie geotekstylii o wyższych gramaturach. Aktualnie na rynku krajowym oferowane są geowłókniny o gramaturach do 650 g/m². W dalszej części pracy [2] zdefiniowano też pewną miarę efektu i skuteczności zbrojenia geotekstyliami określoną współczynnikiem wzmocnienia (zbrojenia, ulepszenia) podłoża gruntowego jako:

$$I_f = q_r/q_0 \quad (2)$$

gdzie

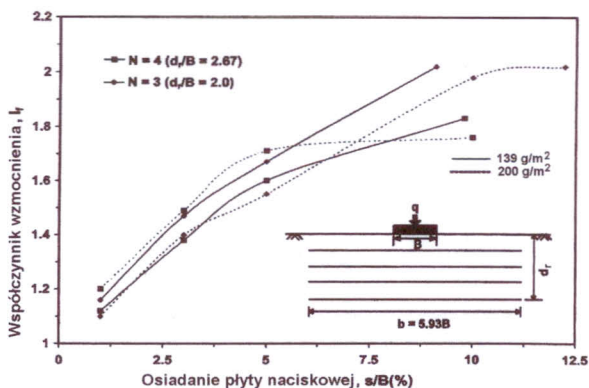
I_f – współczynnik wzmocnienia (ulepszenia) podłoża, [-]

q_r – nacisk na podłożo zbrojone geotekstyliami dla zadanego osiadania, [kN/cm²],

q_0 – nacisk na podłożo nie zbrojone geotekstyliami dla uzyskania tego samego osiadania, [kN/cm²],

s – zmierzone osiadanie [mm].

Zakres zmian tego współczynnika w zależności od osiadań i obciążenia płyty przedstawia rys.5. Z wykresu tego wynika, że dwukrotne wzmocnienie układu z trzema warstwami geotekstylii uzyskujemy przy wywołaniu dziesięcioprocentowego wzrostu osiadań, zaś cztery warstwy geotekstylii, przy tym samym zakresie osiadania wskazują na wzmocnienie tylko 1,8.

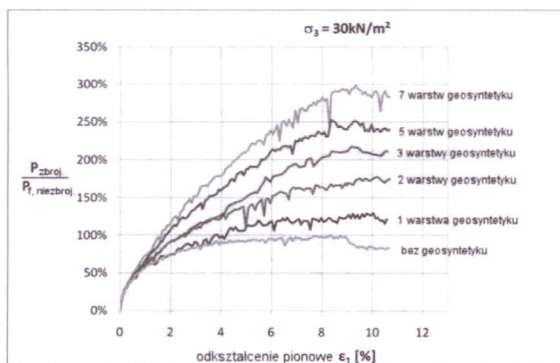


Rys. 5. Wzmocnienie podłoża przy różnych ilościach zbrojenia [3]
Fig. 5. Ground improvement by different reinforcement [3]

Warto też zwrócić uwagę, że zdefiniowane wzorem (1) głębokość strefy zbrojenia i wzorem (2) współczynnik wzmocnienia mogą mieć znaczenie praktyczne. Można je też łatwo odnieść do propozycji zastosowania technicznego na rys.1 i dla kilku przypadków realizowanych pomiarów VSS uzyskać istotne wyniki porównawcze.

Inny rodzaj badań zreferowano w [5] gdzie wielkowymiarowy aparat trójosiowego ściskania o średnica próbki 0,5m i wysokość 1,1m, znajdujący się w dyspozycji M. Zieglera w Aachen pozwolił na przeprowadzenie badań próbek gruntu *grSa*, żwiru 0/45 mm z przełożonymi kilkoma warstwami geosyntetyków w formie geosiatek. Ten rodzaj modelowego podłoża jest różny od prezentowanego wyżej w badaniach [3]. Różnice polegają na innym materiale gruntowym i odmiennej strukturze i jakości geotekstylii stanowiących w tym przypadku geosiatki. Nie mniej występują widoczne analogie obu sposobów modelowania i wzmocniania podłoża gruntowego. Uzyskane wyniki pokazane na wykresie rys. 6 jednoznacznie wskazują, że ilość warstw geosyntetyku ma istotny wpływ na zakres odkształcalności próbki zbrojonej geosiatkami. Ważnym aspektem jest też rozmiar badanych próbek, które wszystkie umieszczone w zewnętrznym płaszczu szczelnym były poddane stałemu ciśnieniu bocznemu σ_3 równym 30 kN/m^2 . Omawiając wykres rysunku 6 należy dodać, że oś odciętych określa odkształcenie próbek wielkowymiarowych i przedstawia stosunek wzrostu wywołanego ciśnienia na próbki zbrojone geosyntetykiem p_{zbr} do ciśnień na próbki sporządzone z gruntu nie uzbrojonego $p_f \text{ nieuzbr}$. Jest to analogiczny współczynnik uzbrojenia podłoża jak opisany wzorem (2) i wskazuje, że efektywność zbrojenia poziomego zwanego planarnym, rośnie wraz z ilością warstw zbrojenia. Jakkolwiek wyniki te można interpretować w ograniczonym zakresie to jednak badania wielkowymiarowych próbek uwarstwionych geosiatkami wykazały bezpośrednio korzystny wpływ wielowarstwowości zbrojenia geosyntetykami. Wyniki te mają jedynie pośrednie przełożenie do warstw gruntowych zbrojonych kilkoma warstwami geotekstylii, bowiem mechanizm zachowania się

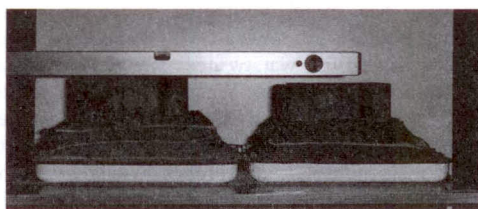
tego typu geotekstylii w gruncie jest nieco inny, ale są ważnym wskazaniem, co do skuteczności stosowania wielowarstwowego układu zbrojenia.



Rys. 6. Efekt warstwowego zbrojenia gruntu geosiatkami [3]
Fig. 6. The effect of multilayered geogrids reinforced ground [3]

3. Własne testy struktur uwarstwionych geotekstyliami

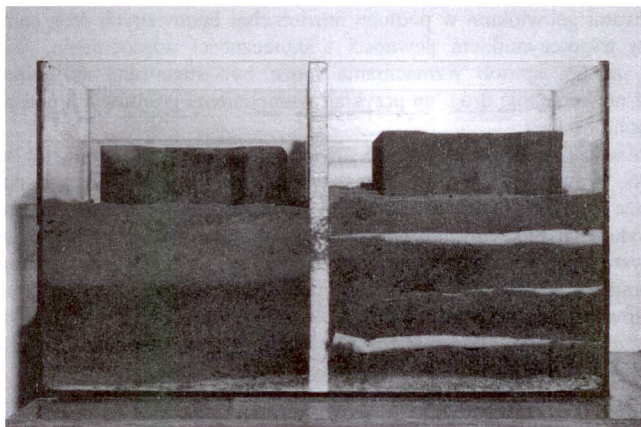
W celu podkreślenia tych i zademonstrowania wymowy ważnych wniosków wynikających z zaprezentowanych wyników badań modelowych, autor w ramach badań własnych wykonał w warunkach laboratoryjnych testy obrazujące ogólne zasady planarnego wzmacniania gruntów geotekstyliami. Sporządzono przybliżone modele podłoża gruntowego o wilgotności zbliżonej do naturalnej, a następnie fotografie ilustrujące porównawcze efekty zbrojenia podłoża gruntowego kilkoma warstwami geowłóknin o gramaturze 250 g/cm^2 . rys. 7 i rys.8. Fotografie te są jedynie demonstracją skutków wzmocnień i nie są obrazem stanowiska pomiarowego. Przed ich wykonaniem, rys. 7 przygotowano w warunkach laboratoryjnych jednakową ilość piasku średnioziarnistego MŚa o $\rho = 1,65 \text{ g/cm}^3$, ok. $3,8 \text{ dm}^3$ w stanie nie zagęszczonym o wilgotności zbliżonej do naturalnej i z wysokości około 1m zrzucano kostkę betonową o masie ok. 5 kg wyrównując spłaszczone pryzmy uwarstwowanego geowłókniną gruntu. W podobny sposób wykonano przygotowania na rys. 8,



Rys. 7. Efekt wielowarstwowego zbrojenia geotekstyliami podłoża gruntowego
Fig. 7. Demonstration of the effect with multi layered reinforcement ground base

gdzie ok. 6 dm^3 umieszczono w prostopadłościennym, dwudzielnym pojemniku szklanym. W żadnym razie fotografie te nie są fotografiami stanowiska badawczego, na którym wykonano precyzyjne pomiary, nie mniej ich poglądowego i poznawczego charakteru nie

można pominąć. W ogólnym zarysie potwierdzają one przedstawione wyniki pomiarów na omówionych modelach podłoża gruntowych sugerując wyraźne różnice osiadań. Są to uzupełniające i symulacyjne własne testy autora, które mogą być również pomocne w projektowaniu dalszych badań w różnych ośrodkach gruntowych.



Rys. 8. Efekt wzmocnienia podłoża gruntowego trzema warstwami zbrojenia

Fig.8. Demonstration of the effect with three layer reinforced ground base

4. Wnioski

Przedstawione na wykresach wyniki pomiarów przeprowadzonych w różnych ośrodkach mają istotne znaczenie dla ustalenia właściwego sposobu wzmocnienia geotekstylami podłoża nawierzchni drogowej. W istocie nie stanowią weryfikacyjnych pomiarów *in situ*, ale pozwalają ustalić pewnych wskazań dla projektantów dróg prowadzących się do następujących stwierdzeń;

- W gruntowych podłożach nawierzchni drogowych należy stosować nie więcej niż cztery warstwy geotekstylii. Większa ilość warstw nie przynosi znaczącego efektu wzmocnienia podłoża, natomiast w istotny sposób zwiększa koszt materiałów takiego rozwiązania, które przestaje być konkurencyjne dla zastosowania spoiw hydraulicznych lub bezpośredniej wymiany warstwy gruntu.
- Wielowarstwowe wzmocnienie geotekstylami podłoża nawierzchni nie wymaga geowłóknin o podwyższonych parametrach technicznych i gramaturze. Istotny efekt wzmocnienia uzyskuje się przez zastosowanie co najmniej dwóch warstw. Jedna warstwa geowłókniny nie powoduje znaczącego efektu wzmocnienia podłoża gruntowego.
- Pewne znaczenie ma grubość warstw gruntu znajdująca się pomiędzy sąsiednimi warstwami geotekstylii. Według sugestii zawartych w pracy [3] i niektórych pomiarów zawartych w pracy [2], grubość ta uzależniona jest między innymi od uziarnienia gruntu podłoża C_U . Większa średnica 60% frakcji piasku w gruncie podłoża czyli $\uparrow d_{60}$ powoduje możliwość zwiększenia grubości warstwy między warstwami geowłóknin, która w przeciętnych strukturach gruntów piaszczystych wynosi od 5 do 10cm.

Są to ważne wnioski, które w istotny sposób są zbieżne z wynikami doświadczeń poligonowych relacjonowanych w pracy [2], bowiem badania podatności i odkształcalności na poletku doświadczalnym pozwoliły ustalić między innymi to, że grubość warstwy pokrywającej gruntem geowłókninę redukuje odkształcalność całego układu warstw podłoża. Pozwalają też na bezpośrednie zastosowanie techniczne wzmocnienia podłoża gruntowych kilkoma warstwami geowłóknin w podłożu nawierzchni budowanych dróg samochodowych z odpowiednim współczynnikiem pewności i skuteczności wzmocnienia. Wynika z tego również i to, że ten sposób wzmocniania może być stosowany w podłożach innych konstrukcji niż nawierzchnie dróg, na przykład wzmocnienia gruntowych podłoży ław i stóp fundamentowych.

W ogólności można też zwrócić uwagę na aspekt ekonomiczny tego sposobu wzmocnień. W przypadku gruntów piaszczystych polepszenie ich własności nośnych cementem może być konkurencyjne dopiero wówczas, gdy planarne zbrojenie podłoża gruntowego wykonano pięcioma lub więcej warstwami geotekstylii. Rozwiązania z trzema lub czterema warstwami geotekstylii, w zależności od ich gramatur, z pewnością będą tańsze niż z zastosowaniem cementu dla wytypowanych do ulepszenia rodzajów gruntów. Pewne optimum kosztów wzmocnienia gruntów podłoża drogi w zadanych, gruntowych warunkach lokalnych, można uzyskać po przeanalizowaniu alternatywnego zastosowania dwu lub trzech warstw geotekstylii zamiast spoiw hydraulicznych.

Bibliografia

- [1] Czmiel K. Programy obliczeniowe wykorzystywane w Polsce do obliczeń statycznych konstrukcji ziemnych z gruntu zbrojonego. Skarpy drogowe. Materiały Seminarium IBDiM i PSG-IGS, Warszawa, marzec 2010, str. 63-105
- [2] Gradkowski K. Efekt wzmocnień geotekstyliami gruntowego podłoża nawierzchni dróg. Badania doświadczalne. Drogi i Mosty, Nr 4, 2008, str.5-22
- [3] Madhavi Latha G, Amit Somwanshi; Bearing capacity of square footings on geosynthetic reinforced sand. Geotextiles and Geomembranes 27 (2009), pp. 281-294.
- [4] Palmira E., M., Soil- geosynthetic interaction: Modeling and analysis. Geotextiles and Geomembranes 27 (2009), pp. 368-390.
- [5] Sikora Z., Ziegler M., Geosynthetics in Geomechanics. Large triaxial compression tests. Materiały seminarium „Zastosowanie geosyntetyków w budownictwie i inżynierii środowiska”. Gdańsk, wrzesień, 2009.

MULTI- LAYERED GEOTEXTILES SYSTEM OF ROADS SUBBASE IMPROVEMENT

The paper presents in part revue of the research experience with multi layered geotextiles system as planar reinforced ground of roads subbase. Bearing capacity and stiffness of ground surface has significant increase in such cause and it is compared to properties of soil stabilisation with hydraulic binders. Demonstrations tests confirm this kind of technical solutions in road construction. It was found that more then five layers of geotextiles in rods ground subbase are not expected. Some economical remarks show the proper objectives of this way of geotextiles applications.