

**Mgr inż. Jacek Ajdukiewicz**

*członek rzeczywisty*



**International  
geosynthetic  
society**

## **ZASTOSOWANIE GEOTEKSTYLIÓW NIETKANYCH, IGŁOWANYCH W BUDOWIE NAWIERZCHNI AUTOSTRAD I POSADZEK HAL.**

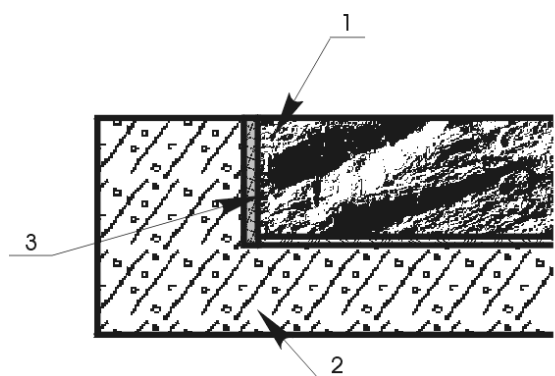
### **1. Wprowadzenie**

Według dotychczas panujących kanonów projektowania konstrukcji nawierzchni, zarówno betonowych jezdni autostradowych, jak też i wielkowymiarowych posadzek hal: przemysłowych, obiektów handlowych i magazynów wysokiego składowania, jednym z warunków stawianych przed ich wykonawcami było zapewnienie dobrego związania dolnych powierzchni tych nawierzchni z górnymi powierzchniami położonych poniżej warstw nośnych; przy czym dotyczyło to zarówno wykonania ich z żelbetu, asfaltobetonu czy też stabilizowanych hydraulicznie (*cementem, wapnem wzgl. specjalnymi cieczami do stabilizacji podłoży*) materiałów mineralnych.

Proces wylewania mas betonowych na już zestalone warstwy nośne podłoży konstrukcyjnych tych obiektów teoretycznie zapewniał wystąpienie rzekomo dobrej przyczepności i sądziło się, że tak uzyskany „monolit” nie będzie w procesie eksploatacji podatny na żadne uszkodzenia czy też stany awaryjne.

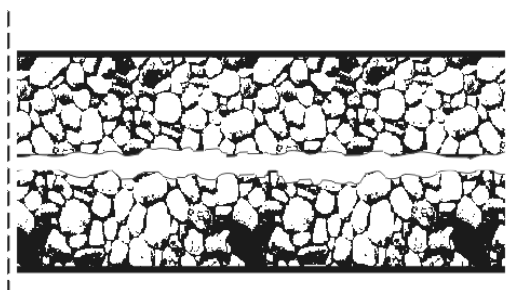
Życie wykazało jednak błędność tej oceny.

Okazało się bowiem, iż na płaszczyznach styków obydwu warstw w krótkim czasie pojawia się woda; czy to jako pozostałość wód zarobowych, czy pochodząca z opadów atmosferycznych, czy też po prostu, z niedocenianego przez konstruktorów nawierzchni źródła – z kondensacji na zimnych powierzchniach pary wodnej, znajdującej się stale w powietrzu atmosferycznym.



Rys.1: Obraz miejsca występowania problemu – hydroerozji materiałów konstrukcyjnych na styku płyt poddanych dużym i częstym obciążeniom.

(1 – warstwa nawierzchniowa – np.: beton ze zbrojeniem rozproszonym, wzgl. zbrojona stalą zbrojeniową płyta betonowa nawierzchni autostrady; 2 – warstwa nośna np.: żelbetowa lub asfaltobetonowa; 3 – elastyczne uszczelnienie przestrzeni dylatacyjnej).



Rys. 1a: Obraz przekroju płyt betonowych po hydroerozji obszaru ich styku.

Nie ma możliwości np. w zakresie nawierzchni autostradowych, całkowicie uniknąć na stałe przenikania wody szczelinami wzdłużnymi, poprzecznymi oraz z boków, do przestrzeni styku pomiędzy nawierzchnią betonową a położoną poniżej warstwą nośną.

Problemy zaczynają pojawiać się wtedy, gdy przyczepność na narożach płyt betonowych zaczyna się zmniejszać i pomiędzy betonową płytą jezdni i spójną z nią warstwą nośną, powstaje mała szczelinka, do której może wnikać woda. Ponieważ hydraulicznie lub bitumicznie związane warstwy nośne praktycznie nie przepuszczają wody ku dołowi, woda zaczyna się zbierać i pozostaje na dłuższy okres czasu w miejscach, gdzie przyczepność pomiędzy nawierzchnią betonową a warstwą nośną jeszcze istnieje.

Okazało się, że na skutek odkształceń płyt betonowych nawierzchni autostradowych wywołanych przetaczaniem się kół samochodów, zwłaszcza ciężarowych (*szczególnie na krańcach płyt*), woda uzyskuje pewne ciśnienie i przemieszcza się. Dochodzi do zjawiska hydrodynamicznego pompowania, a właściwie: hydromielenia (*wskutek – najpierw – nacisku, pochodzącego od kół przejeżdżających pojazdów, następnie ssania, po przeniesieniu obciążenia, po śladach kół, w inne miejsce*). Wytwarzają się przy tym wysokie prędkości przepływu, wywołujące znaczne siły erozyjne. Dochodzi skutkiem tego do wypłukiwania w obrębie pasów jezdnych drobnoziarnistych materiałów z górnej powierzchni warstwy nośnej np. autostrady oraz z dolnej powierzchni żelbetowej warstwy powierzchniowej, aż do wypłynięcia wody z wypłukanymi z obydwu warstw drobnymi cząsteczkami, głównie poprzez

szczeliny wzdłużne między prawym pasem ruchu a niżej położonym pasem postojowym względnie pierwszym pasem mijania (*przy spadku poprzecznym do środka*), ponieważ utrzymująca się w tym miejscu dłuższa przyczepność uniemożliwia odpływ wody (*rys. 2*). Poznać to można w zależności od rodzaju związania i składu warstwy nośnej po jasnych i ciemnych smugach zanieczyszczeń obok szczeliny wzdłużnej oraz po wytryskających z niej fontannach wody podczas przejazdu ciężarówek.

Erozja warstwy nośnej prowadzi siłą rzeczy do pogorszenia warunków posadowienia i podwyższonego obciążenia nawierzchni betonowej. Mogą tworzyć się rysy, później różnice poziomów powierzchni poszczególnych płyt oraz ich przechylenia. Uszkodzenia te decydują o wartości użytkowej oraz czasokresie użyteczności nawierzchni betonowej.



Rys. 2: Erupecja wody ze szczeliny wzdłużnej między pasem ruchu a pasem postojowym – z cząstkami drobnymi i z piaskiem z hydromielenia.

## 2. *Możliwości rozwiązań*

Dla uniknięcia takich szkód, trzeba dać przesiąkającej wodzie, możliwość odprężenia i odprowadzenia. W praktyce proponowane są następujące rozwiązania:

- ułożenie na całej powierzchni pomiędzy nawierzchnią betonową a warstwą nośną geotekstyliów;
- poprawa technologii budowy, mająca na celu polepszenie przyczepności pomiędzy nawierzchnią betonową a warstwą nośną;
- zastosowanie grubej nawierzchni betonowej na warstwie nośnej wykonanej z samego tłucznia (*warstwa nośna bez środków wiążących*);
- ewentualnie umieszczenie geotekstyliów na warstwie nośnej z tłucznia – przed wylewem betonu płyty nawierzchniowej (*szczególnie istotne w przypadku wylewania posadzek hal*).

### 2.1 Nawierzchnia betonowa na geotekstyliach syntetycznych.

Rozwiązaniem rokującym powodzenie w odprowadzaniu (*bez spowodowania uszkodzeń*) wody, która przeniknęła pod nawierzchnię betonową, okazało się ułożenie geotekstyliów na całej powierzchni związanej warstwy nośnej. Rozpoczęte w 1980 roku w Niemieckim Federalnym Instytucie Drogowym próby odwadniania nawierzchni betonowych skoncentrowane były początkowo na wykonaniu drenażu wzdłużnego w obrębie krytycznej szczeliny, pomiędzy prawym pasem jezdni a pasem postojowym. Taki układ okazał się słuszny, jeżeli, tak jak np. stwierdzono to na autostradzie A67 koło Darmstadt (*Niemcy*), woda zgodnie ze spadkiem poprzecznym mogła odpłynąć po asfaltowej warstwie nośnej oddzielonej od nawierzchni betonowej warstwą papieru podkładowego w kierunku pasa postojowego i tam doznawała siępiętrzenia tylko z powodu pasma brzegowego o grubości 30 cm.

Na wypadek gdy powstanie erozji o charakterze powierzchniowym możliwe jest pod całym pasmem jezdni (*co w technologiach budowy na przyczepność powinno się zawsze zakładać*) wykonanie drenażu wzdłużnego może wprawdzie erozję zredukować, nie może jej jednak zapobiec.

Impulsem do wykonania obok drenażu wzdłużnego również odwodnienia powierzchniowego pomiędzy nawierzchnią betonową a warstwą nośną był remont przeprowadzony na autostradzie BAB A5 koło miejscowości Mörsfeld, gdzie wymianie uległo 10 zniszczonych płyt betonowych. W obszarze remontowanym, na paśmie postojowym, znajdowały się większe ilości drobnoziarnistych elementów hydraulicznego środka wiążącego warstwę nośną, które wypompowane zostały głównie poprzez szczelinę wzdłużną. Przez zastosowanie betonu z dodatkiem plastyfikatora, bez dodatkowych działań stworzone zostałyby wprawdzie szczelne połączenie między nawierzchnią a podkładem, ale wtedy problem spiętrzającej się wody na prawym brzegu płyty tylko przesunąłby się o jedno pasmo jezdni bardziej do środka, a woda nie przedostawałaby się do zaprojektowanego drenażu wzdłużnego. Dlatego przed zabudową betonu ułożono pełnopowierzchniowo na erodowanej warstwie nośnej geotekstylię – aż do samego drenażu wzdłużnego, wykonanego z rury perforowanej, posadowionej w łożu tłuczniowym.

Pomiary wykonane przepływomierzami uchylnymi na odpływach bocznych wykazały, że system odwadniania funkcjonował, przy czym wypłukiwania drobnych cząstek nie występowały. Zakładanie dalszych próbnich odcinków odwadniania doprowadziło do koncepcji, by geotekstylię pełnopowierzchniowo układać pod wszystkimi pasmami jezdni, a więc także pod pasmem postojowym (*ale już wówczas bez drenażu wzdłużnego*). W ten sposób zrodziła się technologia budowy, która w latach 80-tych zastosowana została na całym szeregu dłuższych odcinków próbnych. Z reguły w charakterze geotekstyliów użyto odpornych na działanie alkaliów wyrobów polipropylenowych, o gramaturze rzędu  $300 \div 500 \text{ g/m}^2$ .

## **2.2 Ulepszenia technologii budowy mające na celu polepszenie przyczepności między nawierzchnią betonową a warstwą nośną.**

Racjonalizacja rozwiązań budowlanych dla budowy warstw nośnych związanych hydraulicznie lub bitumicznie ukierunkowana była przede wszystkim na podwyższenie odporności warstwy nośnej na erozję i zabezpieczenia na długi okres czasu. jej przyczepność do nawierzchni betonowej. W przypadku warstw nośnych związanych hydraulicznymi środkami wiążącymi zalecano najpierw (*dla uniknięcia w wyniku działania naprężeń utwierdzających powstawania w nawierzchni betonowej rys*) wykonanie wrębów pod szczelinami betonowymi, a następnie zażądano wytrzymałości  $15 \text{ N/mm}^2$ . Betonoasfaltowe warstwy nośne pod nawierzchniami betonowymi dla podwyższenia siły przyczepności, wytrzymałości na erozję oraz uzyskania zdolności dopasowywania się były wtedy projektowane jako bardziej plastyczne m.in. z bardziej miękkimi środkami wiążącymi oraz z wyższą ich zawartością.

Poza tym dla przedłużenia okresu użytkowania podwyższono grubość nawierzchni betonowych tak, by np. przy niemieckiej klasie budowy „SV” grubość łączna nawierzchni betonowej oraz warstwy nośnej, związanej środkami hydraulicznymi wynosiła aż 46 cm!

Przy takiej technologii budowy szczególną uwagę należy zwracać na szczelność szczelin oraz ich konserwację, co prowadzi do zwiększonego stosowania profili uszczelniających. W latach 80-tych eksperymentalnie przy zabudowie nawierzchni betonowych, do odwadniania ułożono dreny pasmowe z geotekstyliów, służące normalnie w robotach ziemnych jako dreny pionowe do obniżenia poziomu wód gruntowych. Chciano w ten sposób wodę wnikającą w szczelinę bezpośrednio uchwycić i odprowadzić. Już przy pierwszych próbach stwierdzono, że dreny zabudowane pod szczelinami poprzecznymi posiadały jedynie krótkotrwałą skuteczność.

W czasie badań prowadzonych na liczącej 11 lat autostradzie pobrano rdzenie wiertnicze z zakresów szczelin poprzecznych, pod którymi przed zabudową betonu ułożono geosyntetyczne pasma drenażowe. Okazało się, że taki geosyntetyczny filtr od góry nasycony był stwardniałym zaczynem cementowym, który wypełniał również kanaliki wodne rdzenia wiertniczego.

Wszystkie dreny płaskie od dołu wypełnione były drobnymi cząstkami, które były transportowane szczelinami pionowymi i poziomymi hydraulicznie związanej warstwy nośnej. Pasma drenażowe nie były więc w stanie spełniać swojej funkcji odwadniającej. Aby pasma drenażowe mogły prawidłowo spełniać swoją funkcję musi być spełniony warunek, że filtr wobec drobnych cząstek zaprawy cementowej będzie funkcjonalnie stabilny, tj. stale zatrzymujący drobne cząstki oraz przejmujący w każdym przypadku wydzielany podczas wiązania betonu nadmiar wody. Na podstawie tych negatywnych doświadczeń od kilku lat zaprzestano dalszej zabudowy pod szczelinami elementów drenażowych.

### **2.3 Nawierzchnia betonowa na warstwie nośnej z tłucznia.**

Przy technologii budowy nawierzchni betonowej na warstwie nośnej wykonanej z tłucznia (*warstwa nośna bez środków wiążących*), woda która wniknęła pod płytę betonową może przez warstwę nośną i warstwę mrozoodporną spłynąć w dół, a następnie w poprzek, po powierzchni ziemi, do bocznej instalacji drenażu.

Warunkiem pozwalającym na to, by tak się mogło stać jest to, by warstwa tłuczniowa charakteryzowała się wystarczającą i stabilną przepuszczalnością wody (*wartość  $k \geq 1 \times 10^{-5}$  m/s*). Z uwagi na to, iż wobec warstwy nośnej z tłucznia wymagany jest wtórny moduł odkształceń  $E_2 \geq 150 \text{ MN/m}^2$ , następuje optymalizacja jej składu pod względem uziarnienia z punktu widzenia możliwych do uzyskania wartości CBR i przepuszczalności wody.

Na podstawie zebranych ogólnie dobrych doświadczeń na odcinkach próbnych, w nowym wydaniu niemieckiej instrukcji standaryzacji nawierzchni komunikacyjnych (*RSTO*) ta technologia budowy przyjęta zostanie dla klas budowy „SV” oraz „I” i „III” (*rys. 3*). Grubość tłuczniowej warstwy nośnej wynosi przy tym dla wszystkich klas dróg 30 cm. Grubość nawierzchni betonowej jest w porównaniu do technologii budowy z przyczepnością każdorazowo podwyższona o 4 cm. Zgodnie z tym grubość pokrywy betonowej w klasie budowy „III” posiada grubość 26 cm, zaś przy klasie budowy „SV” – 30 cm. Dlatego ten rodzaj budowy może być charakteryzowany jako sposób budowy niewrażliwej na przemieszczenia grubej pokrywy betonowej na niezwiązanej warstwie nośnej.

G R U P A	Klasa budowy według niemieckiej klasyfikacji	„SV”				„I”				„II”				„III”			
	Liczba osi ekwiwalentnych [10 Mg / oś] <b>B</b> (w milionach osi umownych)	> 32				>10 ÷ 32				3 ÷ 10				> 0,8 ÷ 3			
	Niezbędna grubość konstrukcji ze względu na mrozochronność [cm]	60	70	80	90	50	60	70	80	50	60	70	80	50	60	70	80
2.1	<b>Geowłóknina na warstwie nośnej z hydraulicznymi środkami wiążącymi na warstwie mrozochronnej.</b>																
	nawierzchnia betonowa geotekstyl igłowany utwardzenie hydraulicznymi środkami wiążącymi warstwa mrozochronna z szeroko lub średnio stopniowanego materiału (zgodnie z normą DIN 18 196)																
	Grubość warstwy mrozochronnej	18	28	38	48	10	20	30	40	11	21	31	41	12	22	32	42
2.2	nawierzchnia betonowa geotekstyl igłowany wzmocnienie przez zagęszczenie warstwa mrozochronna z wąsko stopniowanego materiału (zgodnie z normą DIN 18 196)																
	Grubość warstwy mrozochronnej	13	23	33	43	5	15	25	35	6	16	26	36	7	17	27	37
	<b>Warstwa nośna asfaltowa na warstwie mrozochronnej</b>																
3	nawierzchnia betonowa warstwa asfaltowa lub betonoasfaltowa warstwa mrozochronna																
	Grubość warstwy mrozochronnej	-	34	44	54	-	26	36	46	-	28	38	47	-	28	38	48
	<b>Warstwa nośna z tłucznia</b>																
4	nawierzchnia betonowa warstwa nośna z tłucznia warstwa mrozochronna z szeroko lub średnio stopniowanego materiału (zgodnie z normą DIN 18 196)																
	Grubość warstwy mrozochronnej	-	-	20	30	-	-	12	22	-	-	13	23	-	-	14	24

Rys. 3: Wyciąg z projektu nowej „Niemieckiej Instrukcji Standaryzacji Nawierzchni Komunikacyjnych” (RSTO). Opracowanie ze stycznia 1999 r., Tablica 2, Rodzaje budowli z nawierzchniami betonowymi, klasy budowli SV, I, II, III.

### 3. Skuteczność użytych geotekstyliów.

Zalety technologii budowy z zastosowaniem geotekstyliów (rys. 4) jako warstwy między nawierzchnią betonową a związaną warstwą nośną, których jest o wiele więcej niż pierwotnie zakładano, można opisać w następujący sposób:

Przy pomocy geotekstyliów od samego początku uzyskano powierzchniowo pełne rozdzielenie eliminujące przyczepność pomiędzy płytą betonową a podkładem.



Rys. 4: Geowłóknina ułożona na całej powierzchni. Po prawej stronie odwodnienie 19 metrów szerokości pasa autostrady przy pomocy tzw. „drenu francuskiego”.  
(modernizacja wg technologii P.R. INORA® odcinka ul. Górnośląskiej [Katowice] w ciągu autostrady A-4 Katowice – Kraków, lipiec 1999 r.).

Pomiędzy warstwą nośną związaną przy pomocy środków hydraulicznych, a nawierzchnią betonową nie ma skutkiem tego żadnych poziomych naprężeń utwierdzających, dlatego potrzebnych w innym przypadku wrębów w warstwie nośnej można nie wykonywać. Poza tym, w oddzielonej warstwie betonowej, redukcji ulegają wynikające z gradientów temperatury i wilgotności naprężenia własne.

Obserwacje zachowania się szczelin poprzecznych na odcinkach próbnych pod względem powstawania pęknięć wykazały, że następuje bardzo równomierne całkowite dzielenie się szczelin.

Na zasadzie dobrej i trwałej elastyczności geotekstyliów warstwa betonowa jest dobrze podparta. Konstrukcja ta, w przeciwieństwie do warstw betonowych na sztywnym podkładzie, zachowuje się zgodnie z prawami rządzącymi płytami ułożonymi na elastycznym podłożu. Krótkotrwałe występujące uderzenia, pochodzące od obciążeń dynamicznych ruchu komunikacyjnego, w przypadku zastosowania geotekstyliów – są równomiernie wytłumione i, jako powierzchniowo rozproszone, przekazywane do podkładu. Podkłady sztywne bez

pryczepności i do tego jeszcze o powierzchni podlegającej erozji są natomiast bardzo niekorzystne dla stanu nawierzchni betonowej.

Pierwotnemu zadaniu tj. zapobieganiu erozji w warstwie nośnej, geotekstylią całkowicie sprostały. Wypełniają bowiem szczelinę między płytą betonową a warstwą nośną i dopasowują się do normalnych zmian położenia tych warstw w stosunku do ruchów wynikających wskutek istnienia gradientów temperatury i wilgotności oraz występujących podczas eksploatacji tego typu nawierzchni obciążeń komunikacyjnych, w szczególności dynamicznych.

Woda która przedostanie się pod nawierzchnię betonową wnika w każdej sytuacji zawsze w geotekstylią i nie może być pod kołami ciężarówek zmuszana do tak wysokich szybkości przepływów jak woda swobodnie się tam znajdująca.

Badający zagadnienie uczeni niemieccy Eisenmann i Birmann udowodnili, że przez zastosowanie geotekstyliów pomiędzy warstwą nośną utwardzoną hydraulicznymi środkami wiążącymi a nawierzchnią betonową, nie nastąpiła, stwierdzana zwykle w badaniach przyspieszonych na stanowisku próbnym, erozja mniej wytrzymałych warstw nośnych .

Zastosowany geosyntetyk winien też, bez nacisku wywołanego obciążeniami komunikacyjnymi, zapewniać skuteczne drenowanie, które może być jednak niewielkie. W przypadku najczęściej stosowanego i zalecanego geotekstyliów FIBERTEX<sup>®</sup> typ F-4M lub F-45M wodoprzepuszczalność pod obciążeniem pionowym  $20 \text{ kN/m}^2$  wynosi każdorazowo  $k_H \geq 15 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ . Geotekstylią działają tym samym jak dławik i większość wody przemieszcza się poprzez szczeliny oraz nawierzchnię jezdni do zewnętrznego systemu odwadniania.

W ostatnich latach przez Niemieckie Konsorcjum Budowy Autostrad DEGES zbudowanych zostało osiem większych odcinków autostrad z warstwą geotekstyliów między nawierzchnią betonową a warstwą nośną związaną środkami hydraulicznymi (rys. 5).



Rys. 5: Rozkładanie geowłókniny na warstwie nośnej związanej środkami hydraulicznymi.



Specjalne badania uzupełniające przeprowadzone przez Zakład Kontroli Materiałów Budowlanych i Badań Gruntu w Wetzlar (*Niemcy*) dały następujące wyniki:

- górna warstwa włókien geotekstyliów połączyła się z betonem
- geotekstyli nie są wypełnione zaprawą cementową
- w geotekstyliach osadziły się drobne cząstki cementu, nie stanowiące jednak wypełnienia przestrzennego
- z dolnej powierzchni płyty betonowej, podczas zabudowy wypłukała się znikoma ilość zaprawy cementowej; zauważono luźno leżący piasek kwarcowy oraz wypełniacz;
- w obrębie szczelin geotekstyli częściowo napełnione są drobnymi cząsteczkami startego betonu, a pomiędzy geotekstyliami i dolną stroną płyty spoczywa piasek oraz drobny żwir, prawdopodobnie wypłukane z betonu;
- na dolnej stronie płyty betonowej, w pobliżu szczelin, beton jest tak dalece wymyty, że odsłonięte zostały komponenty żwirowe;
- geotekstyli nie są uszkodzone w sposób widoczny, zarówno w obszarze pod szczelinami jak i w środku płyty;
- geotekstyli w dotyku sprawiają wrażenie puszystych i są podczas obciążenia powierzchniowego ściskane.

Opisy technologii budowy nawierzchni betonowych na geotekstyliach zawarte będą zarówno w nowej edycji obowiązującej w RFN „Uzupełniających przepisów technicznych: „Beton” (ZTV „*Beton*”)” oraz „Wytycznych budowy nawierzchni dróg” (RSTO).

#### **4. Wymagania stawiane geotekstyliom.**

W znajdujących się jeszcze w opracowaniu niemieckich „Uzupełniających Przepisach Technicznych: Beton”, w rozdziale 2.4.1.9. „Geotekstyli” aktualne wymagania, stawiane geotekstyliom zabudowanych pod nawierzchniami betonowymi, ustalone są następująco:

Jako podkład dla nawierzchni betonowych stosować należy geotekstyli, zgodnie z „Technicznymi Warunkami Dostaw „Geotex E-Stb” dla budownictwa drogowego”.

Aby dobrane geotekstyli mogły właściwie spełniać swe funkcje, ich właściwości powinny odpowiadać poniższemu warunkom:

- muszą charakteryzować się następującymi stosunkami:
  - wodoprzewodności w kierunku poziomym (*zgodnym z kierunkiem płaszczyzny nietkanego, igłowanego wyrobu geosyntetycznego*), pod obciążeniami: 2, 20 i 200 kPa, jak:  $(1,80 \div 1,33) : 1,00 : (0,40 \div 0,25)$ , oraz jednocześnie,
  - grubości tego wyrobu (*pod obciążeniem jak powyżej*), jak:  $(1,40 \div 1,08) : 1,00 : (0,80 \div 0,55)$ ; przy wodoprzewodności co najmniej  $k_H \geq 15 \times 10^{-4}$  m/s przy  $i = 1$  oraz grubości co najmniej  $1,4 \div 3,2$  mm (*obydwie wielkości mierzone pod obciążeniem 20 kPa*);
- powinny z zasady posiadać ciężar powierzchniowy minimum  $300 \text{ g/m}^2$ ;
- muszą być wykonane ze 100%-ych poliolefin, tj. z polipropylenu względnie z polietylenu bez dodatków żadnych innych substancji i addytywów;
- powinny posiadać odporność na działanie alkaliów (*a więc nie mogą być wykonane np. z poliestrów !*);
- muszą być zespolone mechaniczne, poprzez igłowanie;
- powinny posiadać wytrzymałość na zerwanie w obydwu kierunkach zrywania płaszczyzny próbki na poziomie co najmniej  $15 \text{ kN/m}$ ;

Dla wykładanych na tego typu konstrukcjach geotekstyliów stosowana będzie zewnętrzna kontrola jakości wg DIN 18200. Kontrolne badania jakości wykonywane będą przez zamawiającego minimum trzy razy losowo, jednak na co najmniej jednej próbce na całej szerokości z każdych 20.000 m<sup>2</sup>.

Rozkładanie geotekstyliów nie sprawia żadnych zasadniczych kłopotów nawet w warunkach ruchu komunikacyjnego na placu budowy. Zabudowywane wstęgi (*pasma*) należy układać na zakładki co najmniej 15 cm w kierunku wzdłużnym i poprzecznym, przy czym wstęga (*pasma*) leżąca wyżej ułożona musi być nad wstęgą (*pasmem*) leżącą niżej. Wykluczyć należy styki krzyżowe. Nad głębiej leżącym brzegiem jezdni, geotekstylia należy ułożyć 10 cm poza krawędzią zewnętrzną nawierzchni betonowej, by zapewnić odprowadzenie przepływającej przez geotekstylia wody. Aby zapobiec tworzeniu się zafałdowań przy odwijaniu rolek korzystać należy z odpowiedniego mechanicznego urządzenia rozkładającego (rys. 5), pozwalającego na odwijanie rolek z kontrolowanym napięciem wstępnym materiału, tak ażeby geotekstylia można było mocować (*szpilkować*) w postaci napiętej. Geotekstylia należy na brzegach oraz na zakładkach mocować do podłoża przy pomocy gwoździ i ocynkowanych podkładek o średnicy 70 mm, w odległości od siebie nie przekraczającej 2,0 m. W zależności od wytrzymałości warstwy nośnej, wbijanie gwoździ dokonuje się narzędziami pneumatycznymi lub przyrządami do osadzania kołków (*np. pistolety firmy HILTI*).

## 5. Podsumowanie końcowe

Korzyści techniczne, jakie niesie ze sobą zastosowanie geotekstyliów umieszczonych pomiędzy nawierzchnią betonową a związaną warstwą nośną, zauważone zostały już przed 15 laty.

W międzyczasie zostały one potwierdzone przez badania prowadzone długookresowo nad zachowaniem się tego rodzaju konstrukcji w praktyce.

Pozytywne oddziaływanie geotekstyliów zasadniczo sprowadza się do spełniania czterech poniższych funkcji:

### 1. Funkcja oddzielania

Geotekstylia stwarzają od samego początku jednoznacznie zdefiniowane stosunki przez to, że nawierzchnia betonowa oddzielona zostaje (*dylatacyjnie*) od warstwy nośnej. Unika się w ten sposób powstawania naprężeń skupionych, a naprężenia własne w płycie betonowej ulegają zmniejszeniu.

### 2. Funkcja drenażowa

Geotekstylia odprowadzają wodę wsiąkającą poprzez szczeliny i z wyżej położonego brzegu, bez żadnych uszkodzeń, z pod nawierzchni betonowej na pobocze.

### 3. Funkcja podłoża

Geotekstylia stwarzają dla nawierzchni betonowej równomierne warunki posadowienia i działają jak podłoże elastyczne. Dynamiczne obciążenia komunikacyjne zostają wytłumione.

#### 4. Funkcja współpracy

Geotekstylia zatrzymują na swej górnej powierzchni cząstki mlecza cementowego. W sposób istotny przyczyniają się do zachowania w masie płyt betonowych pierwotnego składu mieszanki betonowej, nie dopuszczając do zubożenia ich składu w nieewakuujący się z masy betonowej cement.

Dla lepszego umożliwienia zainteresowanym P.T. Projektantom wykorzystania treści powyższego opracowania, zamieszcza się poniżej dane techniczne geotekstyliów typu „F-4M”, jako wyrobu wystarczającego dla mniej obciążonych nawierzchni betonowych: jezdni dróg komunikacyjnych nie będących autostradami i drogami szybkiego ruchu, oraz dla nawierzchni: placów, w tym w szczególności placów manewrowych i postojowych, a także składowisk np. kontenerów oraz, w szczególności betonowych posadzek hal: fabrycznych (produkcyjnych) oraz handlowych i magazynów wysokiego składowania, jak też dane techniczne geotekstyliów typu „F-45M”, spełniających kryteria jakościowe, jak dla nawierzchni betonowych autostrad (ruch KR 6 i KR 6b).

Tabela 1:

Techniczna charakterystyka wyrobów	F-4M	F-410	F-500	F-400M	F-45M
<b>Klasa wg. międzynarodowej klasyfikacji CBR</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
Własności mechaniczne:					
Wytrzymałość na wgniatanie – próba statyczna (CBR test) (EN ISO 12236):					
Próba CBR: X [N]	3250	3440	4180	4300	5200
Opór na przebicie CBR: X-s [N]	3050	3120	3810	4000	5000
Deformacja [%]	60	50	50	60	60
Wytrzymałość na wgniatanie – próba dynamiczna (próba opadania stożka) (EN 918) [mm]	10	14	15	5	5
Wytrzymałość na rozciąganie (EN/ISO10319):					
- wzdłuż pasma [kN/m]	18,0	20,0	25,0	24,0	26,0
- wszerz pasma [kN/m]	19,0	20,0	25,0	25,0	36,0
Wydłużenie przy zerwaniu:					
- wzdłuż pasma [%]	65	52	55	70	75
- wszerz pasma [%]	80	52	55	80	75
Wytrzymałość na wrywanie (Grab test) [N]	1000	1220	1410	1100	1400

	F-4M	F-410	F-500	F-400M	F-45M
Własności hydrauliczne:					
Wodoprzepuszczalność prostopadła do płaszczyzny geotekstyli $k_v$ z $\Delta h_{wody}=100$ [mm] (EN 12040):					
- przy obciążeniu 2 [kPa] [m/s x 10 <sup>-4</sup> ]	35,0	17,0	15,0	23,0	15,0
- przy obciążeniu 20 [kPa] [m/s x 10 <sup>-4</sup> ]	20,0	12,0	13,0	15,0	12,0
- przy obciążeniu 200 [kPa] [m/s x 10 <sup>-4</sup> ]	6,0	7,0	7,0	6,0	5,0
Wodoprzepuszczalność w płaszczyźnie geotekstyli $k_H$ z $\Delta h_{wody}=100$ [mm] (EN 12040):					
- przy obciążeniu 2 [kPa] [m/s x 10 <sup>-4</sup> ]	59,0	53,0	44,0	31,0	33,0
- przy obciążeniu 20 [kPa] [m/s x 10 <sup>-4</sup> ]	33,0	36,0	28,0	23,0	19,0
- przy obciążeniu 200 [kPa] [m/s x 10 <sup>-4</sup> ]	8,0	14,0	10,0	8,0	6,6
Wskaźnik wodoprzepuszczalności (przy 10 cm słupa wody) [l/s/m <sup>2</sup> ]	105	85	75	80	60
Umowny wymiar porów $O_{90\%}$ (ISO 12956) [mikron]	80	70	65	70	45
Własności fizyczne:					
Masa powierzchniowa (EN 965) [g/m <sup>2</sup> ]	320	320	370	400	500
Grubość (EN 964-10):					
- przy obciążeniu 2 [kPa] [mm]	3,2	2,0	2,2	3,5	3,5
- przy obciążeniu 20 [kPa] [mm]	2,3	1,5	1,8	2,5	3,2
- przy obciążeniu 200 [kPa] [mm]	1,3	1,2	1,5	1,7	2,1
Standardowe wymiary:					
Szerokość [m]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Długość [m]	100	100	100	100	100
Średnica rulonu [cm]	58	45	49	62	60
Masa rulonu (przy szer. 5,0 [m]) [kg]	165	168	195	210	255

*Literatura tematu w posiadaniu autora artykułu.*