



fot. Anichwam d'ritz, Artur Łęgosz

Rola różnych wypełniaczy w kształtowaniu odporności na ścieranie podkładów podłogowych

Zdecydowana większość obiektów magazynowych jak również produkcyjnych i handlowych oddanych do użytku w ciągu ostatnich kilkunastu lat posiada posadzki betonowe. W celu uzyskania przewidzianych cech użytkowych, jak również nadania betonowej powierzchni walorów o charakterze estetycznym, na betonowe powierzchnie posadzek nakładane są różnej grubości materiały na bazie wypełniaczy mineralnych z mineralnym lub organicznym spoiwem. Zatem to właśnie ten materiał poddawany jest później obciążeniom eksploatacyjnym, polegającym na ścieraniu powierzchni i jej wgniataniu w płytę betonową podczas toczenia się kół środków transportu wewnętrznego – głównie wózków widłowych i przyrządów do przetaczania materiałów na paletach.

Duże natężenie ruchu kołowego, szczególnie w magazynach, i jeszcze większe ruchu pieszego w obiektach handlowych zmusza projektantów i inwestorów do poszukiwania takich rozwiązań, które zapewnią bezawaryjną eksploatację i użytkowanie posadzki przez okres wielu lat, bez konieczności wykonywania napraw bądź remontów. Czasowe zamknięcie obiektu, bądź wyłączenie z użytkowania jego części, spowodowane niewłaściwymi cechami eksploatacyjnymi posadzki, naraża właściciela obiektu na wysokie koszty bezpośrednie i pośrednie, związane z utratą wpływów od ewentualnych najemców.

Jednym z trudniejszych a zarazem istotnych elementów realizacji posadzki betonowej jest właściwy dobór technologii jej wykonania, uwzględ-

niający aspekt organizacyjno-ekonomiczny oraz dobór rodzaju materiału na warstwę eksploatacyjną. Projektant i wykonawca stoją przed wyborem konkretnego produktu do utwardzeń powierzchniowych spośród materiałów dostępnych na rynku, który przy założeniu właściwej aplikacji spełni kryteria eksploatacyjne, z równoczesnym warunkiem możliwie niskich kosztów materiałowych i wykonawczych. Do tańszych materiałów zwiększających odporność betonowej posadzki na ścieranie należą produkty uzyskane na bazie cementu jako spoiwa i wypełniaczy mineralnych, w tym i sztucznie otrzymany, jak również materiały zawierające jako składnik wypełniacza granulaty metaliczne. Odpowiednio grubo położona warstwa materiału do powierzchniowego utwardzania (od kilku do kilkunastu mm), np. w technice „mokre na mokre”, pozwala na uzyskanie przez powierzchnię posadzki betonowej wysokich parametrów użytkowych, zbliżonych do właściwości położonego materiału.

Najczęściej wykorzystywaną techniką utwardzania powierzchni płyty betonowej w Polsce jest jednak technika „suche na mokre” znana też jako DST (Dry Shake Topping). Pozwala ona na utworzenie warstwy z materiału utwardzającego grubości około 2 mm, która za sprawą obróbki wcierania w powierzchnię twardniejącego betonu nie zawsze jest jednorodnej grubości i ulega pewnemu przemieszaniu z drobnym kruszywem znajdującym się w betonie. Zastosowanie tej techniki pozwala nawet na znaczące polepszenie odporności

powierzchni płyty betonowej na ścieranie, choć powierzchnia posadzki może nie wykazywać odporności na ścieranie adekwatnej do klasy zastosowanego materiału.

Materiałami stosowanymi do utwardzania powierzchni posadzek w powyższych technikach są mieszanki kruszyw o wielkości ziaren praktycznie nieprzekraczającej 3 mm, cementu oraz domieszki ułatwiającej uzyskanie odpowiednich cech wytrzymałościowych, jak również wspomagającej proces mechanicznego zacierania powierzchni. Często materiały tego typu są dedykowane jednej z technik nakładania na powierzchnię formowanej płyty betonowej, choć niektórzy producenci wskazują na przydatność produkowanych przez siebie mieszanek do nakładania w obu wspomnianych technikach. Właściwości użytkowe tego typu materiałów są jednak oceniane według kryteriów jednej normy (PN-EN 13813), na podstawie tych samych procedur. To powoduje, że właściwości powierzchni betonowej wykonanej w technice DST prawie nigdy nie będą takie same jak w przypadku zastosowania techniki „mokre na mokre”. W tej ostatniej bowiem materiał na warstwę narażoną na ścieranie ma zdecydowanie bardziej stabilne cechy, jako efekt jego przygotowania według ściślejszych wytycznych producenta oraz brak wymieszania zarówno kruszywa jak i spoiwa ze składnikami betonu z płyty betonowej.

Odporność na ścieranie materiałów na podkłady podłogowe zależy bardzo od rodzaju wypełniacza. Z jego właściwościami związane są również cechy wytrzymałościowe. Producenci tego typu materiałów niechętnie dzielą się swoim doświadczeniem w zakresie kształtowania tych parametrów, niewiele też informacji na ten temat dostępnych jest w ogólnie dostępnej literaturze. Najczęściej producenci gotowych mieszanek na podkłady betonowe wskazują, że ich produkty zostały wyprodukowane w oparciu o wyselekcjonowane kruszywa naturalne o wysokiej odporności na ścieranie oraz kruszywa sztuczne. Oczywiście jest, że praktycznie każdy z producentów stara się spełnić określone kryteria normowe przy możliwie najniższych kosztach, co związane jest z korzystaniem z lokalnej bazy surowcowej. Zatem produkty spełniające te same kryteria klas często znacząco różnią się od siebie rodzajem zastosowanych wypełniaczy. Produkcja mieszanek do powierzchniowego utwardzania wydaje się stosunkowo prosta, dlatego też na rynku dostępne są materiały produkcji różnych firm, przy czym, jak pokazują wieloletnie badania, część spośród tych wyrobów nie zawsze spełnia deklarowane właściwości.

Śród najczęściej stosowanych na rynku wypełniaczy autorzy wybrali kilka kruszyw, w oparciu o które przygotowali mieszanki o zbliżonej krzywej uziarnienia oraz zbliżonej objętościowo zawartości tego samego cementu. Dla uzyskania podobnych krzywych uziarnienia każde z kruszyw podzielono na trzy frakcje: $0,125 \div 0,5$ mm, $0,5 \div 1,0$ mm i $1,0 \div 3,0$ mm. Udziały procentowe poszczególnych frakcji stosu okruszowego ustalono w oparciu o równanie Fullera-Thompsona, po wprowadzeniu w miejsce D_{Max} wartości równej 3 oraz w miejsce D_i wymiarów sit, a mianowicie 3, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 mm.

$$y = \left(\frac{D_i^n}{D_{Max}^n} \right) \cdot 100\%$$

gdzie:

- y – kumulacyjny % zawartości i-tej frakcji
- D_i – średnica i-tej frakcji, mm
- D_{Max} – średnica maksymalnego ziarna, mm
- n – stała równa 0,45

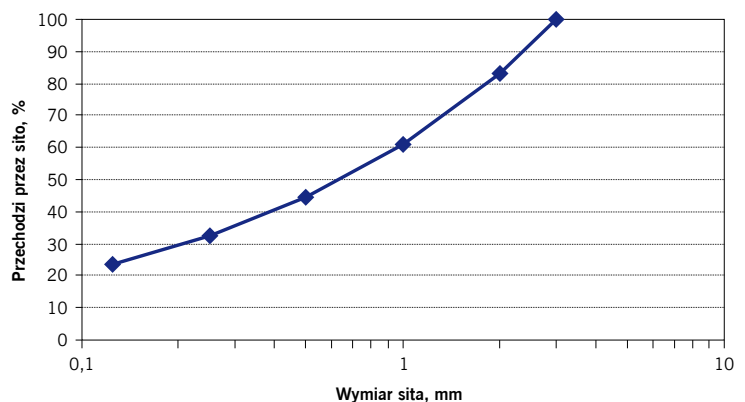
Celem takiego podejścia było, przynajmniej w założeniu, uzyskanie możliwie niskiej jamistości wypełniaczy, a tym samym możliwie wysokiego wypełnienia przestrzeni materiałami kształtującymi odporność na ścieranie, jak również cechy wytrzymałościowe. Krzywa uziarnienia kruszywa została przedstawiona na rys. 1. Z obliczeń poczynionych dla uzyskania krzywej uziarnienia wynika, że zawartość materiału drobnouziarnionego powinna wynosić około 24%. Za taki materiał, tj. wielkości $< 0,125$ mm, uznano w przygotowanych do badań mieszankach cement. Wynikające z przeprowadzonych obliczeń udziały procentowe poszczególnych składników wyrażone są w procentach objętościowych. Za punkt wyjścia do obliczeń w zakresie ustalenia udziałów poszczególnych składników przyjęto kruszywo kwarcowe (piasek) i cement CEM I 42,5R. Uwzględniając różnice w gęstościach cementu i kwarcu, masowy udział spoiwa mieszanki powinien wynieść około 28%. Do badań przyjęto, że w stosunku do kruszywa kwarcowego masowy udział spoiwa wyniesie 30% (podniesiono zatem objętościowy udział spoiwa do 26,8 % mieszanki). W pierwszej kolejności przeprowadzono badania odporności na ścieranie oraz wytrzymałości na ściskanie na mieszankach przygotowanych z czterech rodzajów kruszyw:

- piasku kwarcowego
- bazaltu
- korundu
- żużla pomiedziowego.

Ponieważ każde z tych kruszyw charakteryzuje się inną gęstością objętościową, dlatego też ustalono, że udziały wagowe każdego z wypełniaczy będą uwzględniały różnice gęstości w stosunku do wyjściowego kruszywa z piasku kwarcowego. Pozwoliło to na zachowanie stałej objętości poszczególnych kruszyw w stosunku do objętości cementu. Dodatkowym składnikiem wszystkich przygotowanych mieszanek była domieszka w postaci plastyfikatora, dozowana w stałej ilości w stosunku do masy cementu.

Przygotowane mieszanki składników suchych zrobiono wodą do ustalonej konsystencji, równej 135 mm, mierzonej średnicą rozptyłu stożka na

Rys. 1. Przyjęta krzywa uziarnienia kruszyw w mieszankach poddanych ocenie odporności na ścieranie



Tab. 1. Wyniki badań materiałów przygotowanych z kilku różnych kruszyw

Skład mieszanek i rodzaj przeprowadzonych badań	Skład i wyniki badań w zależności od rodzaju użytego kruszywa			
	Piasek kwarcowy	Kruszywo bazaltowe	Elektrokorund	Żużel pomiedziowy
Obj. udział frakcji 1÷3 mm	37,6%			
Obj. udział frakcji 0,5÷1 mm	15,7%			
Obj. udział frakcji 0,125÷0,5 mm	19,9%			
Obj. udział frakcji 0÷0,125 mm (cementu)	26,8%			
w/c	0,27	0,34	0,32	0,32
Odporność na ścieranie, cm ³ /50 mm ²	5,57	11,90	2,23	7,85
Klasa odporności na ścieranie	A6	A12	A3	A9
Wytrzymałość na ściskanie, MPa	89	93	73	67
Koszt materiałowy 1m ³ stwardniałego podkładu, PLN	640	470	9800	930

Tabela 2. Sposoby modyfikacji składu wypełniacza kwarcowego kruszywem korundowym

Rodzaje frakcji / cechy uzyskanych materiałów podkładowych	Oznaczenia próbek / wyniki badań lub analizy						
	P	PK0,5	PK1	PK3	PK0,5+1	PK0,5+3	PK1+3
Frakcja 1÷3 mm	piasek	piasek	piasek	korund	piasek	korund	korund
Frakcja 0,5÷1 mm	piasek	piasek	korund	piasek	korund	piasek	korund
Frakcja 0,125÷0,5 mm	piasek	korund	piasek	piasek	korund	korund	piasek
Odporność na ścieranie, cm ³ /50 mm ²	5,57	4,84	3,08	2,80	3,37	3,04	2,35
Klasa odporności na ścieranie	A6	A6	A6	A3	A6	A6	A3
Koszt materiałowy 1m ³ stwardniałego podkładu, PLN	640	3270	2730	5410	5260	7940	7450
Zmiana odporności na ścieranie w stosunku do % objętości zastąpionego wypełniacza, (cm ³ /50 mm ²)/1%	-	0,027	0,116	0,054	0,045	0,032	0,044

stoliku rozptyłu. Jednak ze względu na różny pokrój i właściwości ziaren, mieszanki przygotowane z różnych kruszyw wymagały innej ilości wody zarobowej.

Z zarobionych wodą mieszanek zaformowano próbki do badań odporności na ścieranie – kostki sześciennie o wymiarach 71x71x71 mm. Oceny

Tabela 3. Sposoby modyfikacji składu wypełniacza bazaltowego kruszywem korundowym

Rodzaje frakcji / cechy uzyskanych materiałów podkładowych	Oznaczenia próbek / wyniki badań lub analizy						
	B	BK0,5	BK1	BK3	BK0,5+1	BK0,5+3	BK1+3
Frakcja 1÷3 mm	bazalt	bazalt	bazalt	korund	bazalt	korund	korund
Frakcja 0,5÷1 mm	bazalt	bazalt	korund	bazalt	korund	bazalt	korund
Frakcja 0,125÷0,5 mm	bazalt	korund	bazalt	bazalt	korund	korund	bazalt
Odporność na ścieranie, cm ³ /50 mm ²	11,90	7,20	4,45	3,58	4,37	3,96	2,48
Klasa odporności na ścieranie	A12	A9	A6	A6	A6	A6	A3
Koszt materiałowy 1m ³ stwardniałego podkładu, PLN	470	3210	2580	5310	5280	7900	7260
Zmiana odporności na ścieranie w stosunku do % objętości zastąpionego wypełniacza, (cm ³ /50 mm ²)/1%	-	0,173	0,347	0,162	0,155	0,101	0,129

odporności na ścieranie dokonano po 28 dniach dojrzewania w warunkach zgodnych z normą PN-EN 13892-1 dla materiałów wykonanych na bazie spoiwa cementowego. Próbkę poddane ocenie odporności na ścieranie poddano następnie ocenie wytrzymałości na ściskanie. Choć samo oznaczenie nie zostało przeprowadzone zgodnie z przywołaną w normie przedmiotową procedurą (norma przewiduje badania na próbkach o wymiarach 40x40x160 mm), to wykonane badanie pozwala na porównywanie wyników wobec zachowania tych samych procedur badawczych.

Wyniki badań odporności na ścieranie i wytrzymałości na ściskanie przedstawionych powyżej mieszanek przedstawiono w tabeli 1. Tabela zawiera również objętościowe udziały poszczególnych frakcji kruszyw i spoiwa oraz stosunek w/c, przy którym przygotowane mieszanki spełniały kryterium założonej konsystencji.

Stosunek w/c wskazuje, że kształt ziaren uzyskany poprzez rozdrobnienie użytych materiałów wpływa na pogorszenie ich konsystencji przy zachowanej objętości zaczynu, stąd konieczność zwiększenia ilości wody w stosunku do masy cementu. Jak widać, wzrost stosunku w/c nie musi skutkować spadkiem wytrzymałości na ściskanie, co oznacza, że cecha ta tylko w pewnym stopniu zależy od proporcji składników zaczynu cementowego, i równocześnie znacząco zależy od rodzaju materiału będącego wypełniaczem.

Badania odporności na ścieranie przygotowanych materiałów pokazują dużą zależność tego parametru od rodzaju użytego wypełniacza. Zwraca uwagę stosunkowo wysoka odporność na ścieranie materiału przygotowanego na bazie czystego piasku kwarcowego. Wykonany materiał podkładowy posiadał odporność na ścieranie na poziomie 5,6 cm³/50 cm², co pozwala go przypisać do klasy A6, zgodnie z kryteriami normy PN-EN 13813. Równocześnie materiał ten spełnia kryterium najwyższej klasy wytrzymałości na ściskanie wg przywołanej normy = C80. Pewnego rodzaju zaskoczeniem są wyniki badań odporności na ścieranie materiału wykonanego na kruszywie bazaltowym, jak również na kruszywie pozyskanym z żużla pomiedziowego. Wykazują one, szczególnie materiał wykonany z kruszywa bazaltowego, znacząco gorszą odporność na ścieranie niż w przypadku zastosowania piasku kwarcowego – materiał taki spełniał kryterium jedynie klasy odporności na ścieranie = A12. Zastosowanie żużla pomiedziowego pozwala natomiast na uzyskanie klasy A9. Zgodnie z oczekiwaniami, najwyższą odporność na ścieranie posiada materiał przygotowany na bazie elektrokorundu. Spełnia on kryteria klasy A3, ale równocześnie charakteryzuje się niską wytrzymałością na ściskanie, charakterystyczną zaledwie dla klasy C70. Warto zwrócić na tę zależność uwagę, bowiem można się spotkać na rynku z materiałami, które spełniają kryteria odporności na ścieranie i równocześnie nie uzyskują deklarowanych cech wytrzymałościowych. W ostatnim wierszu tabeli 1 przedstawiono szacowany, w oparciu o rynkowe ceny surowców, koszt materiału potrzebnego do wykonania 1 m³ podkładu. Uzyskanie wysokiej odporności na ścieranie przy stosowaniu jednorodnych mineralogicznie materiałów wiąże się ze znaczącym kosztem materiałowym. W trend ten nie wpisuje się wypełniacz

z żuźla pomiedziowego, na bazie którego uzyskuje się niską odporność na ścieranie przy stosunkowo wysokim koszcie materiałowym.

Większość materiałów podkładowych stosowanych do utwardzania powierzchni płyt betonowych, wykazujących odporność na ścieranie klasy A6 lub A3, składa się z co najmniej dwóch wypełniaczy. Jeden z wypełniaczy można nazwać bazowym, odpowiednio tani, lecz z stosunkowo wysokiej odporności na ścieranie – najczęściej piasek kwarcowy, i drugi o wysokiej odporności na ścieranie, pozwalający na uzyskanie założonego poziomu odporności na ścieranie lub odpowiedniej wytrzymałości na ściskanie. Mając to na uwadze zaproponowano pokazanie efektów modyfikacji składu wypełniacza kwarcowego bardziej odpornym na ścieranie materiałem – elektrokorundem (w tabelce pojawia się zapis „korund”). Wykonano także badania w kierunku modyfikacji wypełniacza bazaltowego kruszywem korundowym, jak również piaskiem, jako materiałem o wyższej odporności na ścieranie.

Modyfikację składu wypełniaczy można przeprowadzić na wiele różnych sposobów. Ponieważ w prowadzonych badaniach uzyskanie właściwej krzywej uziarnienia odbywało się w oparciu o trzy różne frakcje kruszywa, dlatego też modyfikacji składów dokonywano poprzez zastąpienie jednej lub dwóch frakcji materiału bazowego odpowiednią frakcją materiału modyfikującego. Wobec różnych gęstości wypełniaczy, podstawianie poszczególnych frakcji odbywało się objętościowo, a nie masowo, aby zachować krzywą uziarnienia oraz objętościowy udział spoiwa w mieszance utwardzającej. Także i w przypadku tych badań udział plastifikatora był stały w stosunku do masy cementu, natomiast pewną zmiennością cechował się stosunek w/c, którego wartość była efektem zachowania stałej konsystencji wykonanych mieszanek. Schemat badań uwzględniający powyższy opis przedstawiają tabele 2÷4. W tabelach zamieszczono również wyniki oznaczeń odporności na ścieranie jak również szacowany koszt materiałów na 1 m³ gotowego podkładu.

Zastąpienie poszczególnych frakcji piasku lub bazaltu odpowiednią frakcją elektrokorundu wpływa na znaczącą poprawę odporności na ścieranie. W przypadku bazowego kruszywa kwarcowego, możliwym jest uzyskanie wyższej klasy odporności na ścieranie (czyli A3) po zamianie frakcji 1÷3 mm na elektrokorund, a zatem wymianie nieco ponad 50% objętości wypełniacza. Oznacza to, że materiał spełniający tę samą klasę odporności na ścieranie, co mieszanka przygotowana w całości na bazie wypełniacza elektrokorundowego, można uzyskać przy ograniczeniu kosztów materiałowych o prawie 45%. Modyfikacja kruszywa bazaltowego poszczególnymi frakcjami wypełniacza elektrokorundowego prowadzi również do uzyskania wyższej odporności na ścieranie. Biorąc jednak pod uwagę, że uzyskanie podobnej odporności na ścieranie, jak w przypadku mieszanek z modyfikowanego kruszywa kwarcowego, odbywa się przy wyższych nakładach materiałowych, modyfikacja taka jest mało racjonalna.

Zastępowanie poszczególnych frakcji kruszywa bazaltowego kruszywem kwarcowym, jako materiałem o większej odporności na ścieranie, również pozwala na zmniejszanie ścieralności w stosunku do ma-

Tabela 4. Sposoby modyfikacji składu wypełniacza bazaltowego piaskiem kwarcowym

Rodzaje frakcji / cechy uzyskanych materiałów podkładowych	Oznaczenia próbek / wyniki badań lub analizy						
	B	BP0,5	BP1	BP3	BP0,5+1	BP0,5+3	BP1+3
Frakcja 1÷3 mm	bazalt	bazalt	bazalt	piasek	bazalt	piasek	piasek
Frakcja 0,5÷1 mm	bazalt	bazalt	piasek	bazalt	piasek	bazalt	piasek
Frakcja 0,125÷0,5 mm	bazalt	piasek	bazalt	bazalt	piasek	piasek	bazalt
Odporność na ścieranie, cm ³ /50 mm ²	11,90	9,92	9,64	7,29	8,95	6,31	6,37
Klasa odporności na ścieranie	A12	A12	A12	A9	A9	A9	A9
Koszt materiałowy 1 m ³ stwardniałego podkładu, PLN	470	520	520	550	560	590	590

teriału bazowego, jednak nie pozwala na uzyskanie klasy odporności na ścieranie lepszej niż A9. To powoduje, że w grupie materiałów do wykańczania i utwardzania powierzchni posadzek przemysłowych materiał taki raczej nie znajdzie zastosowania. Prezentowane w tabeli 2 i 3 wyniki badań związane z modyfikacją elektrokorundem wypełniacza kwarcowego i bazaltowego wskazują na występowanie ciekawej prawidłowości. Otóż największą efektywność w ograniczeniu odporności na ścieranie uzyskuje się, zastępując elektrokorundem w materiale bazowym frakcją 0,5÷1,0 mm. Dzięki poczynionym wymianom tej frakcji uzyskiwano co najmniej dwukrotnie większe zmniejszenie ścieralności na 1% zastąpionego materiału niż w przypadku wymiany frakcji drobniejszej lub też grubszej. Zatem wobec stałych kosztów zakupu elektrokorundu, niezależnie od jego frakcji, praktycznie każda modyfikacja wypełniaczy związana z uzyskaniem materiału o wyższej odporności na ścieranie powinna polegać na wymianie frakcji 0,5÷1,0 mm, bowiem uzyskuje się wówczas najlepszą relację zmiany odporności na ścieranie na tym poziomie modyfikacji (w zakresie klas odporności na ścieranie A6→A3) do zmiany kosztów.

Prezentowane w niniejszym artykule wyniki badań wskazują na silną zależność odporności na ścieranie podkładów podłogowych od rodzaju użytego materiału wypełniającego. Nie zawsze rodzaj materiału, którego obecność w materiale podkładowym jest podkreślana przez producenta, wpływa na polepszenie odporności na ścieranie. W niektórych jednak sytuacjach jego zastosowanie może być uzasadnione w związku z koniecznością uzyskania przez materiał odpowiednio wysokiej klasy w zakresie innej cechy, jak wytrzymałość na ściskanie lub zginanie. Oczywiście, pokazanie przez producenta szerokiej „palety” stosowanych wypełniaczy może mieć jedynie znaczenie marketingowe, choć można mieć nadzieję, że coraz częściej dobór surowców podyktowany jest koniecznością spełnieniem określonych kryteriów technicznych.

dr inż. Artur Łagosz

AGH im. St. Staszica w Krakowie

**Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Technologii Materiałów Budowlanych**

Jerzy Bałacha

**Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych
Oddział Szkoły i Materiałów Budowlanych w Krakowie**

Literatura:

1. PN-EN 13892-3:2005, *Metody badania materiałów na podkłady podłogowe. Część 3: Oznaczenie odporności na ścieranie według Böhme'go*
2. K. Gielnik, *Czynniki kształtujące odporność na ścieranie betonowych posadzek przemysłowych, Seminarium naukowo-techniczne „Podłogi Przemysłowe” 06.10.2009, s. 90-97*
3. G. Zajac, *Posadzki przemysłowe o dużej odporności na ścieranie, „Materiały Budowlane” 5, s. 28-43 (2007)*