

## ZMIENNOŚĆ WYTRZYMAŁOŚCI BETONU NA ŚCISKANIE WYTWARZANEGO W WĘZŁACH BETONIARSKICH W REJONIE PODKARPACIA

© Skrzypczak I., 2007

**In this paper analysis of homogeneity for the chosen four concrete mixes of B20 strength class, produced in 1999 and 2000, have been presented. These concrete were applied in four different bridge objects realized in Podkarpacie region.**

**Wprowadzenie.** W metodach projektowania konstrukcji opartych na teorii prawdopodobieństwa wytrzymałość betonu jest traktowana jako zmienna losowa i opisywana za pomocą dwóch parametrów, wartości średniej i odchylenia standardowego (lub współczynnika zmienności). W normach projektowania konstrukcji z betonu wszystkie właściwości mechaniczne betonu są zależne od wytrzymałości charakterystycznej betonu na ściskanie  $f_{ck}$ . Założenie, że wytrzymałość betonu jest wielkością losową oznacza, że możemy ją jednoznacznie zdefiniować i doświadczalnie sprawdzić, a rozważana wielkość stanowi określoną frakcję liczby wyników badań.

Ewolucję poglądów dotyczących oceny zmienności wytrzymałości betonu można podzielić na następujące etapy:

- ocena poziomu wytwarzania betonu przy pomocy współczynnika zmienności niezależnie od klasy betonu,

- zróżnicowanie zakresów współczynnika zmienności dla niższych i wyższych klas betonów,

- przyjęcie odchylenia standardowego jako miary poziomu produkcji betonu.

Wytrzymałość gwarantowana, zapewniona przez wytwórnię betonu jest funkcją dwóch parametrów:

- wytrzymałości średniej  $f_{cm}$ ,

- odchylenia standardowego  $s_f$ .

Statystyczna kontrola jakości produkcji betonu w wytwórni powinna obejmować zarówno  $f_{cm}$ , jak i  $s_f$ . Przyjęcie odchylenia standardowego jako miary jakości produkcji betonu, jak jest to ujęte w [12] wymaga odzwierciedlenia tego faktu w postanowieniach nowelizacji normy [10]. W przepisach normowych wielu krajów ocenę zmienności wytrzymałości betonu przeprowadza się za pomocą współczynnika zmienności  $v_f$  lub współczynnika jednorodności  $k$  zależnego od współczynnika zmienności  $k = 1 - 1,64 \cdot v_f$ .

Analiza wyników badań wytrzymałości betonu na ściskanie była przedmiotem wielu publikacji [1-8]. Wynikało z nich, że w przypadku betonów przygotowywanych w warunkach laboratoryjnych odchylenie standardowe  $s_f$  wytrzymałości betonu zwiększa się liniowo wraz ze zwiększeniem średniej wytrzymałości betonu.

Początkowo stosowaną miarą oceny poziomu jakości betonu był współczynnik zmienności:

$$v_f = (s_f / f_{cm}) \cdot 100\% , \quad (1)$$

gdzie  $s_f$  - odchylenie standardowe wytrzymałości.

Współczynnik oceniono w [8] na 3-4,5 % w zależności od tego, czy partia betonu obejmowała jedną czy kilka mieszanek.

Różne propozycje ujęcia związku między współczynnikiem zmienności wytrzymałości, a wytrzymałością były zawarte w kolejnych edycjach norm krajowych.

W normie [11] zakładano stały współczynnik zmienności wynoszący 13,5% w przypadku ściskania. W normie [12] podobnie jak w [13], przyjmuje się stałość odchylenia standardowego, co sprawia, że współczynnik zmienności badanej cechy zmienia się od 24% (beton klasy B10) do 11% (beton klasy B50) [14].

Obowiązująca obecnie norma [10] sankcjonuje niski poziom wykonawstwa, przyjmując niezależnie od klasy betonu  $v_f < 20\%$ .

Ocena poziomu wytwarzania betonu przy, pomocy współczynnika zmienności budzi poważne zastrzeżenia. Współczynnik zmienności jest bowiem funkcją dwóch parametrów: odchylenia standardowego i wytrzymałości średniej. Odchylenie standardowe, jako miara rozrzutu wytrzymałości, może charakteryzować jakość wykonawstwa betonu. Wytrzymałość średnia zależy od jakości zastosowanych składników, a przede wszystkim od klasy i ilości cementu. Dlatego przy ustalonym poziomie jakości wykonawstwa betonu współczynnik zmienności jest funkcją malejącą, klasy betonu. Zostało to częściowo uwzględnione w krajowej normie [9], gdzie dla betonów klasy B7,5-B25  $v_f = 10-20\%$ , a dla B30-B50  $v_f = 7 - 15\%$ .

Oszacowanie współczynnika zmienności betonów, który jest niezbędny do oceny jakości badanych betonów był przedmiotem wielu publikacji [1-8]. W artykule ograniczono się tylko do niektórych z nich, kierując się liczebnością próby oraz okresem ich pozyskiwania [1,4,5]. Interesujące wyniki badań z zakresu zmienności wytrzymałości betonów na ściskanie w zakładach prefabrykacji przedstawiono w [1]. Autorzy dokonali oceny jakości betonu pochodzącego z trzech różnych wytwórni produkujących elementy prefabrykowane. Pierwszą była wytwórnia płyt stropowych, charakteryzująca się niską mechanizacją robót, dwie pozostałe charakteryzowały się dużym stopniem mechanizacji robót. Dla obu typów wytwórni sporządzono histogramy wytrzymałości betonu i obliczono estymatory: wartości średnich, odchyłeń standardowych, współczynników zmienności i 5% kwantyle. Beton produkowany przez pierwszy typ wytwórni (niska mechanizacja robót) otrzymał ocenę dostateczną. Wynikało to z faktu dużych wartości współczynników zmienności  $v_f = 23; 20; 17,4; 16,3\%$  odpowiednio dla wytrzymałości po 1, 7, 14 i 28 dniach twardnienia betonu. Beton produkowany przez drugi typ wytwórni (wysoki stopień mechanizacji) otrzymał ocenę dobrą, gdyż współczynniki zmienności przyjęły następujące wartości  $v_f = 19; 12; 11,3\%$  odpowiednio dla wytrzymałości po 1, 7, 14, 28 dniach.

Autorzy pracy [5] postawili sobie za cel ocenę jakości betonów produkowanych w 15 zakładach prefabrykacji z terenu województwa katowickiego w okresie 1966-1972. Do opracowania statystycznego zakwalifikowano betony 4 klas B17, B20, B25, B30 podzielonych na 22 odrębne grupy betonów. Analiza statystyczna objęła zbiór 21096 wyników badań. Za podstawę oceny jakości betonów przyjęto wartość współczynnika w następujących przedziałach: poniżej 10%, 10-13%, 13-16%, 16-20%, powyżej 20%; co odpowiadało: bardzo dobrej, dobrej, średniej, dostatecznej i złej jakości betonu. Współczynniki zmienności obliczono zarówno dla całego okresu obserwacji jak i dla krótszych okresów: rocznych, kwartalnych i miesięcznych. Poziomą jakość wytwarzania betonu dla okresów krótszych była dobra. Jednak, aż 11 grup betonów współczynnik zmienności zawierał się w przedziale 16-20%, co świadczyło o dostatecznej jakości produkowanych betonów. Natomiast 5 grup analizowanych betonów uzyskało współczynnik zmienności z przedziału 13-16% dla całego okresu obserwacji, co świadczyło o średniej jakości tego materiału konstrukcyjnego.

Pracą z tego zakresu jest publikacja [4]. Analiza badań statystycznych ograniczała się do dwóch klas betonów B35 i B45, produkowanych w centralnych wytwórniach, w Niemczech w latach 1991-1993. Liczebność próby dla obu betonów nie była jednakowa i wynosiła dla B35  $n=5706$  a dla B45  $n=1534$ . Zaobserwowane wartości wytrzymałości na ściskanie stanowiły podstawę oceny jakości badanych betonów. Współczynniki zmienności wyznaczono dla 15 ciekawszych realizowanych obiektów. Jakość badanych betonów określono na podstawie współczynnika zmienności według propozycji ACI Standard. Tylko dla czterech wykonanych obiektów jakość betonów była dobra  $10 < v_f < 15$ , w pozostałych przypadkach jakość układanego betonu na budowie była bardzo dobra  $v_f < 10$ .

**Ogólna charakterystyka analizowanych betonów.** Analizie poddano jednorodność wytrzymałościową wybranych czterech mieszanek betonowych klasy B30 produkowanych w latach 1999-2000. Betony te stosowano podczas realizacji czterech różnych obiektów mostowych. Wszystkie betony zostały wykonane z cementów zalecanych dla tego typu konstrukcji. Należy zauważyć, że każdy z betonów wykonywany był przez innego wykonawcę.

Ogólne charakterystyki składu poszczególnych betonów oraz ich przeznaczenie podano w tabeli 1.

Tab. 1

**Ogólna charakterystyka betonów**

Charakterystyka betonów ( założona klasa betonu B30 )				
Symbol betonu	B1	B2	B3	B4
Klasa cementu	CEM I 42,5 R Warta	CEM I 42,5 R Warta	CEM I 42,5 Małogoszcz	CEM I 42,5 Rejowiec
Ilość cementu, kg/m <sup>3</sup>	390	385	385	380
Ilość gysu, kg/m <sup>3</sup>	1352	1386	1310	1477
Ilość piasku, kg/m <sup>3</sup>	637	631	716	586
Dodatki, kg/m <sup>3</sup>	Betoplast N 5,8	Addiment BV3 1,9	Betoplast N 5,8	Betoplast N 7
Wskaźnik C/W (W/C)	0,47 (2,13)	0,46 (2,20)	0,48 (2,08)	0,47 (2,13)
Punkt piaskowy, %	30,4	30,4	31,9	31
Ilość zaprawy, dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	536	556	532	544
Wytrzymałość na ściskanie po 7 dniach, MPa	31,4	30,4	32,9	
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach, MPa	40,2	41,2	46,4	40,7
Przeznaczenie betonu	Wiadukt	Wiadukt	Most	Wiadukt
Miejsce produkcji betonu	Wytwórnia I	Wytwórnia II.	Wytwórnia III	Wytwórnia IV

Wszystkie betony B1, B2, B3, B4 produkowane były w centralnych betonowniach i dowożone na miejsce budowy betonowozami. Badanie wytrzymałości na ściskanie betonu stwardniałego przeprowadzono w laboratorium po 28 dniach. Do badań wytrzymałości stosowano próbki kostkowe o wymiarach 150x150x150mm.

**Statystyczna analiza wyników badań.** Statystyczna ocena analizowanych wyników badań została oparta na określeniu podstawowych parametrów statystycznych: wartości średniej, mediany, rozstępu, odchylenia standardowego, współczynnika zmienności.

Wielkości tych parametrów charakteryzujących jednorodność poszczególnych czterech betonów podano w tabeli 2 i 3.

Tab. 2

**Parametry statystyczne charakteryzujące poszczególne betony w 1999 roku**

Statystyki wytrzymałości betonów na ściskania betonów ( założona klasa betonu B30, rok 1999 )				
Symbol betonu	B1	B2	B3	B4
Liczba danych	101	-	78	82
Średnia, MPa	45,9	-	48,1	45,0
Mediana, MPa	46,5	-	49,0	45,3
Wartość minimalna, MPa	34,7	-	30,8	36,0
Wartość maksymalna MPa	55,6	-	54,8	58,0
Rozstęp, MPa	20,9	-	24,0	22,0
Odchylenie standardowe, MPa	4,68	-	4,69	5,61
Współczynnik zmienności, %	10	-	9,8	12,5

**Parametry statystyczne charakteryzujące  
poszczególne betony w 2000 roku**

Statystyki wytrzymałości betonów na ściskania betonów ( założona klasa betonu B30, rok 2000 )				
Symbol betonu	B1	B2	B3	B4
Liczba danych	24	48	28	-
Średnia, MPa	44,5	48,8	54,0	-
Mediana, MPa	44,7	50,6	51,9	-
Wartość minimalna, MPa	41,1	39,4	46,4	-
Wartość maksymalna MPa	48,8	53,1	77,8	-
Rozstęp, MPa	7,7	13,7	31,4	-
Odchylenie standardowe, MPa	2,00	4,00	6,33	-
Współczynnik zmienności, %	17,7	8,3	11,9	-

Przyjęto do weryfikacji zgodności dopasowania do danych empirycznych dwóch modeli: normalnego i lognormalnego. Pierwszym etapem statystycznego opracowania wyników badań było zbudowanie histogramów. Do obliczenia szerokości i liczby przedziałów przyjęto formułę

$$k=1+3,3\lg n,$$

gdzie n- liczba danych; k- liczba przedziałów między min i max wartością obserwowaną.

Kolejnym etapem była ocena dopasowania modelu matematycznego do wyników badań wytrzymałości betonu na ściskanie. Poprawność wnioskowania potwierdzono testami statystycznymi hipotez zgodności  $\chi^2$  oraz Kołmogorowa-Smirnowa. Do obróbki statystycznej wyników wykorzystano program Statistica. Na rysunku1 przedstawiono przykładowe histogramy wytrzymałości betonu na ściskanie, odpowiadające im krzywe rozkładu prawdopodobieństwa oraz wykresy dystrybuanty empirycznej i teoretycznej.

W tabelach 4-7 – podano wyniki testów zgodności dopasowania funkcji rozkładu normalnego i logarytmo-normalnego do rzeczywistych badań ( test Kołmogorowa-Smirnowa oraz test  $\chi^2$  )

Tab. 4

**Wyniki testu  $\chi^2$  – rok 1999**

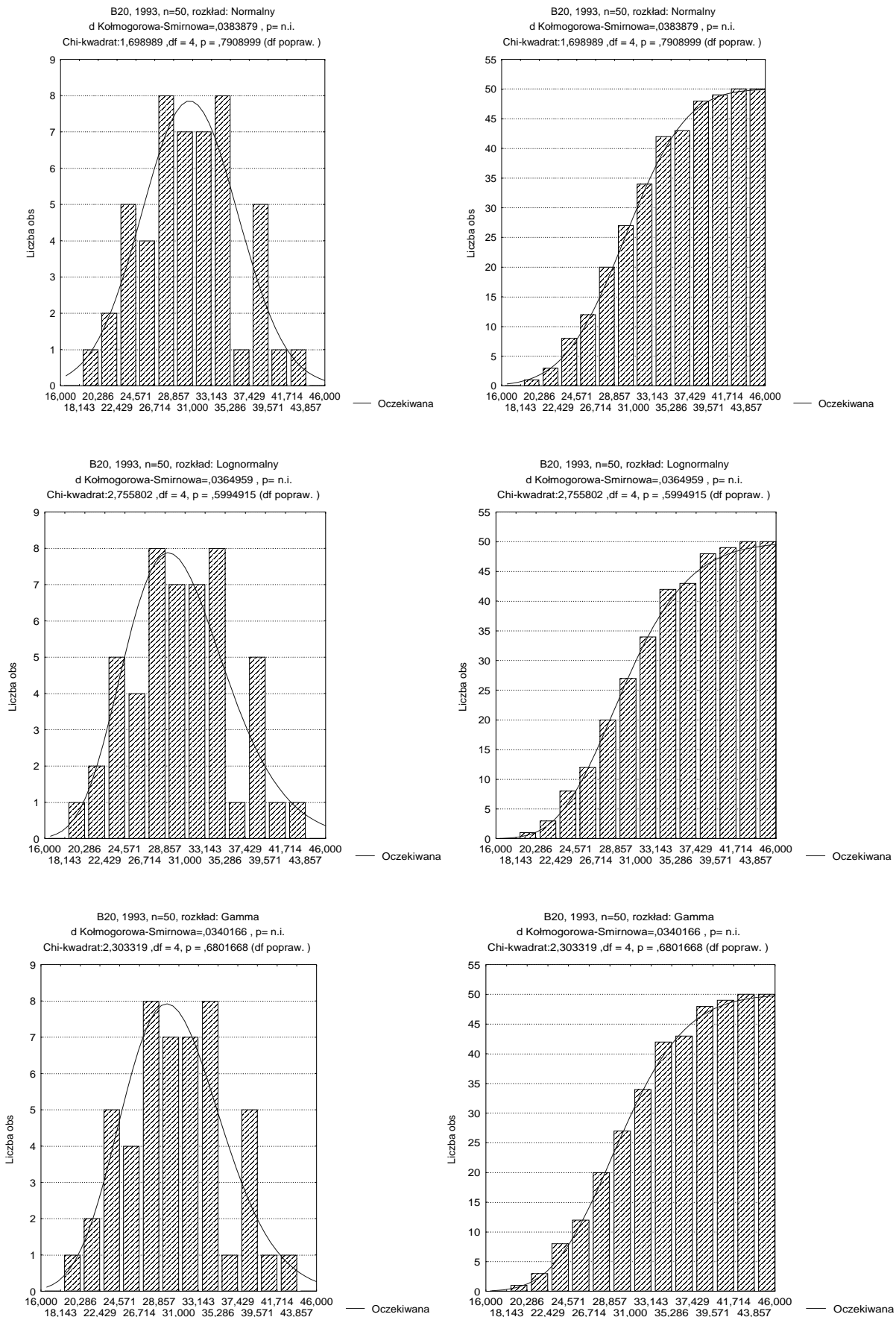
Założona klasa betonu B30 rok 1999				
Symbol Betonu	Stopnie Swobody	Wartość Testu chi-kwadrat		Poziom istotności $\alpha = 0,05$
		Rozkład normalny	Rozkład lognormalny	
B1	5 (6)	13,40	16,84	11,07 (12,57)
B2	-	-	-	-
B3	5 (5)	16,16	24,44	11,07
B4	6 (6)	<b>12,50</b>	<b>12,51</b>	12,59

Tylko dla jednego betonu B4 rozkład wyników badań wytrzymałości na ściskanie nie różni się istotnie od funkcji rozkładu normalnego i lognormalnego, dla innych klas betonów – rozkłady empiryczne nie można opisać założonymi rozkładami teoretycznymi.

Tab. 5

**Wyniki testu K-S – rok 1999**

Założona klasa betonu B30 rok 1999				
Symbol betonu	Liczebność	Wartość testu K-S		Poziom istotności $\alpha = 0,05$
		Rozkład normalny	Rozkład lognormalny	
B1	101	0,87	0,99	0,14
B2	-	-	-	-
B3	78	<b>0,12</b>	0,15	0,15
B4	82	0,83	0,83	0,15



Rys. 1. Przykładowe wykresy dopasowania rozkładów empirycznych do teoretycznych

Z przeprowadzonej analizy statystycznej wynika, że tylko wyniki badań betonu B3 można opisać rozkładem normalnym, w pozostałych przypadkach uzyskane wyniki testu Kołmogorowa-Smirnowa upoważniają do odrzucenia hipotezy o założonych rozkładach badanej cechy betonu.

Tab. 6

### Wyniki testu $\chi^2$ – rok 2000

Założona klasa betonu B30 rok 2000				
Symbol betonu	Stopnie swobody	Wartość Testu chi-kwadrat		Poziom istotności $\alpha = 0,05$
		Rozkład normalny	Rozkład lognormalny	
B1	1 (1)	<b>1,74</b>	<b>1,87</b>	3,84
B2	3 (4)	30,65	39,18	7,81 (9,49)
B3	1 (1)	18,07	13,68	3,84
B4	-	-	-	-

Weryfikując hipotezę o kształcie rozkładu wytrzymałości na ściskanie testem  $\chi^2$  tylko dla betonu B1 hipotezę należy przyjąć dla B2 i B3 hipotezę należy odrzucić.

Tab. 7

### Wyniki testu K-S – rok 2000

Założona klasa betonu B30 rok 2000				
Symbol betonu	Liczebność	Wartość testu K-S		Poziom istotności $\alpha = 0,05$
		Rozkład normalny	Rozkład lognormalny	
B1	24	0,63	<b>0,07</b>	0,28
B2	48	<b>0,18</b>	<b>0,19</b>	0,20
B3	28	<b>0,25</b>	<b>0,23</b>	0,26
B4	-	-	-	-

Weryfikując testem Kołmogorowa-Smirnowa zgodność dopasowania rozkładu rzeczywistego do rozkładu lognormalnego hipotezę należy przyjąć dla wszystkich klas betonów. Natomiast w przypadku dopasowania rozkładu normalnego tylko dla betonu B1 hipotezę należy odrzucić.

Zgodnie z często stosowaną klasyfikacją jednorodności betonu pod względem wytrzymałości na ściskanie, podaną w [9]. Poziom jakości wykonania betonów można uznać za:

Lata	B1	B2	B3	B4
1999	dobry 10%	-	dobry 9,8%	średni 12,5%
2000	niedostateczny 17,7%	dobry 8,3%	średni 11,9%	-

W przypadku analizowanych betonów uzyskano podobną jednorodność pod względem wytrzymałości na ściskanie wykazały betony B1, B3, wykonane w roku 1999 i B2 w roku 2000 ( $8\% < v_f < 10\%$ ). Nieco niższą od nich jednorodnością charakteryzuje się beton B4 produkowany w roku 1999 i beton B3 w roku 2000 ( $11\% < v_f < 13\%$ ). Betonu B1 z 2000 roku był produkowany na poziomie niedostatecznym.

**Podsumowanie i wnioski końcowe.** Przeprowadzona analiza statystyczna jednorodności cech stosowanych w praktyce betonów wskazuje, że:

– wytrzymałość betonu na ściskanie nie zawsze można na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  traktować jako zmiennej mającej rozkład normalny lub lognormalny;

– pod względem wytrzymałości na ściskanie wykonywane w praktyce betony charakteryzują się dobrym poziomem wykonania, choć zdarzają się przypadki nawet średniej i niedostatecznej oceny poziomu jakości.

1. Borcz A., Jankowiak R.: *Kontrola jakości betonu w zakładach prefabrykacji w świetle projektu normy „Beton zwykły”*. *Inżynieria i Budownictwo* 1/1975. 2. Horszczaruk E., Przybylski J.: *Wytrzymałość betonów na ściskanie w świetle badań normowych i badań betonu dojrzewającego w warunkach naturalnych*. *Przegląd Budowlany* 7/1993. 3. Konopka E.: *Probabilistyczny opis wytrzymałości betonu produkowanego w centralnych wytwórniach oraz określenie różnicy między projektowaną i empiryczną wytrzymałością gwarantowaną dwóch klas betonu B35 i B45*. *Rozprawa doktorska, Politechnika Opolska, Opole 1995*. 4. Korzekwa S., Mames J.: *Wytrzymałość gwarantowana betonów produkowanych w zakładach prefabrykacji*. *XX Jubileuszowa Konferencja Naukowa Komitetu Nauki Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Kraków-Krynica 1974*. 5. Kubissa J., Koper W.: *O wskaźnikach zmienności wytrzymałości współczesnych betonów konstrukcyjnych*. *Inżynieria i Budownictwo* 4/2001. 6. Mames J.: *Statystyczna ocena jakości mieszanek betonowych*. *Archiwum Inżynierii Lądowej – tom XXX z.2-3/1984*. 7. Neville A.M.: *Właściwości betonu*. *Cement Polski, Kraków 2000*. 8. PN-75/B-06250 *Beton zwykły*. 9. PN-88/B-06250 *Beton zwykły*. 10. PN-84/B-03264 *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*. 11. PN-B-03264:1999 *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*. 12. PN-ENV 1992 *Projektowanie konstrukcji z betonu*.

Šukevičius Š.

Vilnius Gediminas Technical University  
Department of Transport Technological Equipment  
Lithuania, LT-10105, Vilnius, Plytines st. 27.  
E-mail: [sarunas.sukevicius@ti.vgtu.lt](mailto:sarunas.sukevicius@ti.vgtu.lt)

## EQUIVALENT STANDARD AXLE LOADS ANALYSIS ON LITHUANIAN ARTERIAL HIGHWAYS

© Šukevičius Š., 2007

**As the flows of vehicles, especially heavy goods vehicles are growing on the roads of Lithuania, the remaining deformations of the pavements are appearing and progressing also cracks originate because of low pavement strength. The biggest loads are caused by heavy goods vehicles, which total number increases 17% annually. This paper presents analysis of the damage caused by transport vehicles axle loads to the asphalt pavement roads. This influence estimated through calculation equivalent standard axle load index.**

**Introduction.** The main purpose of arterial roads is to guarantee interstate transport communication. Maximum vehicles traffic intensity, comfort and safety must be assured on these roads, for these reasons road pavement must be smooth, rough and strength during economically reasoned exploitation period [1]. The main Lithuanian arterial highways, which are part of European highways network, shown in Fig 1.

In Lithuania, as in most of European and other continents countries, the pavements of streets and roads are usually prepared from the hot mix asphalt (HMA), which is suitable to pave layers and satisfy modern transport uses. The asphalt pavement laid on a hard foundation and made from essential properties mixes, exact thickness of layers, regarding technological requirements stays strong enough and durable only if the limiting loads of transport vehicles affect it [2,3].

The loads which affect roads of national importance, started intensively increase after restitution of Lithuania's independence, then in the whole flow of transport vehicles the total number of transit transport vehicles has increased. They especially increased after Lithuania has joined the European Union. In the printed paper [4] ten years ago, the necessity of roads asphalt pavements consolidation had been scientifically reasoned for the first time, as the numbers of transit heavyweight trailers had begun intensively grow. It was pointed that increasing transport flows grows the financial inflow to the nation