

ANALIZA DYFUZJI W STREFIE CIENIA AERODYNAMICZNEGO, GAZU EMITOWANEGO Z NISKIEGO ŹRÓDŁA PUNKTOWEGO – BADANIA MODELOWE

Zbigniew BAGIEŃSKI
Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska

STRESZCZENIE

W pracy dokonano analizy warunków dyfuzji gazu wypływającego z niskiego emitora punktowego, w pełnym zakresie cienia aerodynamicznego. Analizę oparto na własnych badaniach modelowych prowadzonych w tunelu aerodynamicznym. Dla oceny zjawisk wykorzystano metodę wizualizacji oraz pomiarowe wyznaczenie profili stężeń gazu wskaźnikowego. Z przeprowadzonych badań wynika, że istnieje możliwość określenia zakresu strefy cienia aerodynamicznego za przeszkodą.

1. Wprowadzenie

Bryły budynków wywołują zaburzenia w przepływie powietrza (wiatru), prowadzące do generowania na krawędziach przeszkody, po jego nawietrznej stronie, wirów podkowiastych. Po stronie zawietrznej rozwija się strefa cienia i śladu aerodynamicznego, charakteryzująca się ograniczoną wymianą powietrza. Według Zannetti [1] oraz Peterka i in. [2] strefa cienia aerodynamicznego sięga do wysokości $z = (2 \div 2,5) H_B$, w zasięgu $x = 6 H_B$, podczas gdy granice strefy śladu aerodynamicznego mogą sięgać do $z = 3 H_B$ oraz $x = 16 H_B$. Elterman [3] zdefiniował granicę strefy śladu aerodynamicznego jako opisaną izotachą: $u/u_0 = 0,95$ (gdzie u_0 – prędkość powietrza w strumieniu niezaburzonym) oraz granicę strefy cienia aerodynamicznego, opisaną zależnością:

$$\int_0^{z_{gr}} u dz = 0 \quad (1)$$

gdzie: z_{gr} – wysokość granicy strefy cyrkulacji w punkcie odległym o x od ściany nawietrznej przeszkody.

Przebieg krzywych granicznych strefy śladu i cienia nie zależy od wartości u_0 , ale od struktury przegrody i struktury jej otoczenia. Wartość u ma natomiast istotny wpływ na dyfuzję gazu wypływającego z emitora niskiego, zlokalizowanego w strefie śladu, zgodnie z zależnością:

$$\Delta p = 0,5 \cdot K (u^2 \rho) \quad (2)$$

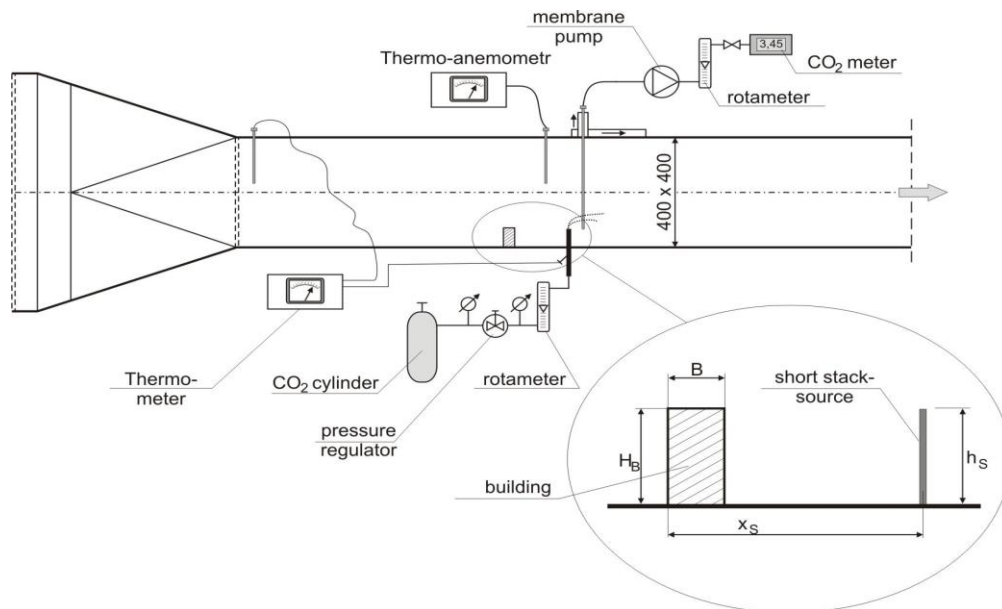
gdzie: K – współczynnik aerodynamiczny przeszkody.

Ocena wpływu pojedynczego budynku lub wybranych struktur urbanistycznych na przepływ strumieni powietrza była przedmiotem wielu badań, obejmujących modelowanie fizyczne w tunelach aerodynamicznych [4-7]. Wyniki niektórych badań przedstawione są w artykule przeglądowym [8]. Wprowadzanie do strefy śladu, a szczególnie cienia aerodynamicznego strumieni gazu z emitatorów niskich, powoduje istotne ograniczenie przestrzeni dyfuzji zanieczyszczeń. Dotyczy to szczególnie tzw. emitatorów niskich klasy II, spełniających warunki: $h_s < 1,1 H_b$; wyniesienie smugi: $\Delta h \approx 0$.

Celem prezentowanej pracy jest analiza warunków dyfuzji gazu wypływającego z niskiego emitora punktowego klasy II, w pełnym zakresie hipotetycznego cienia aerodynamicznego. Analizę oparto na własnych badaniach modelowych, prowadzonych w tunelu aerodynamicznym. Dla oceny zjawisk wykorzystano metodę wizualizacji oraz pomiary stężeń gazu wskaźnikowego. Źródłem zaburzeń przepływu powietrza jest budynek długi, co ogranicza analizę zjawiska do płaszczyzny XZ. Emitor wolnostojący zlokalizowany jest po stronie zawietrznej budynku. Zmiana odległości emitora od przeszkody, przy stałych innych warunkach, umożliwia dobrą obserwację i analizę procesów.

2. Stanowisko badawcze i program badań

Stanowisko do modelowania fizycznego zjawisk rozprzestrzeniania się gazów, wypływających z niskich emitorów punktowych i liniowych, zostało zbudowane w Laboratorium Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej. Jego schemat pokazano na rys. 1. Opis stanowiska zawarty jest w pracach autora [9, 10].



Rys. 1. Schemat stanowiska do modelowania dyspersji zanieczyszczeń emitowanych z niskich źródeł stacjonarnych

Pomiary wykonywane są w części środkowej odcinka badawczego. Analiza dyfuzji gazu wskaźnikowego w strumieniu powietrza może być dokonywana metodą wizualizacji, wraz z dokumentacją fotograficzną oraz poprzez pomiary rozkładu stężeń w płaszczyźnie ZX. Dla badania rozkładu stężeń jako gaz wskaźnikowy zastosowano CO₂ podawany z butli. Stężenie CO₂ w kominie wynosi 100%. Gaz do analizy zasysany jest sondą z prędkością zasysania $w_z < 0,2$ m/s. Stężenia CO₂ w próbce mierzone są analizatorem MSMR-4, z głowicą INFRA-RED, w zakresie 0÷5,0%, z dokładnością pomiaru 0,05%. Wartości stężeń, z trzech sond równocześnie, rejestrowane są co 6 sekund. Po każdorazowej zmianie położenia sond pomiarowych pozostawia się okres 180÷200 s na ustabilizowanie wyników pomiaru. Do analizy przyjmuje się wartość średnią stężenia z kolejnego okresu 120 s. Równocześnie mierzona jest wartość tła – stężenia CO₂ w powietrzu wpływającym do tunelu w zakresie 0÷0,5%.

Źródłem zaburzeń przepływu powietrza w tunelu jest klocek prostokątny (budynek) o wymiarach: $H_B = 58$ mm, $B = 38$ mm ($0,65H_B$), $L_B = 400$ mm (szerokość tunelu).

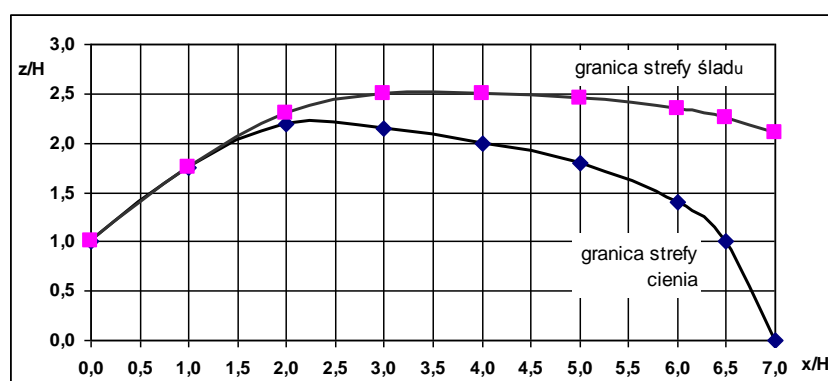
W oparciu o zależności przedstawione przez Eltermana [3], wyznaczono dla budynku hipotetyczne krzywe śladu i cienia aerodynamicznego (rys. 2). W trakcie badań zmieniano położenie emitora wolnostojącego względem budynku w pełnym zakresie wyznaczonego cienia aerodynamicznego.

Jako wartości stałe w prezentowanych seriach pomiarowych przyjęto:

- charakterystykę budynku,
- charakterystykę emitora: wysokość $h = H_B$; średnica wewnętrzna $D_w = 8,0$ mm; prędkość gazu $w = 0,5$ m/s; warunki izotermiczne $T_s = T_o$

Wartościami zmiennymi są:

- prędkość przepływu powietrza u_H (na wysokości dachu budynku, w strumieniu niezakłóconym): $u_H = 1,0$ m/s ($Re = 3844$); $u_H = 2,0$ m/s ($Re = 7687$),
- odległość emitora od budynku: x_s/H_B – w zakresie od $x_s = H_B$ do $x_s = 6H_B$ (liczone od ściany nawietrznej budynku).



Rys. 2. Hipotetyczne krzywe śladu i cienia aerodynamicznego

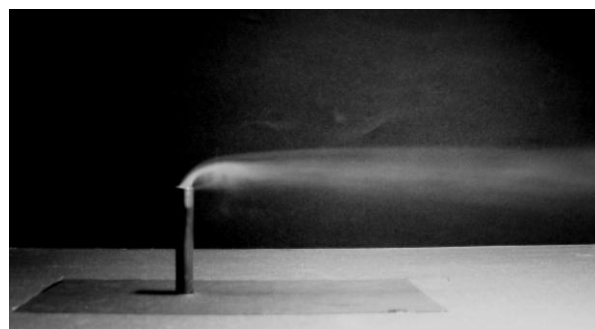
3. Wyniki badań modelowych

Na rys. 3 i 4 przedstawiono zdjęcia niezakłóconych przez przeszkody terenowe smug kominowych wynoszonych z analizowanego emitora wolnostojącego. Rys. 5 przedstawia opływ „budynek” przez strumień powietrza o prędkości $u_h = 1,0$ m/s.

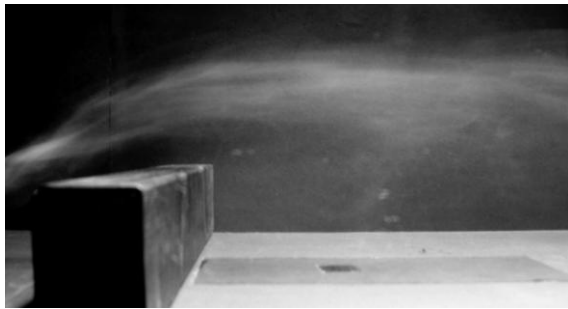
Na rys. 6 do 10 przedstawiono przykładowe zdjęcia smug wynoszonych z emitora punktowego klasy II – w strefie cienia aerodynamicznego, dla różnych prędkości powietrza u_h oraz różnych odległości emitora od przeszkody x_s/H .



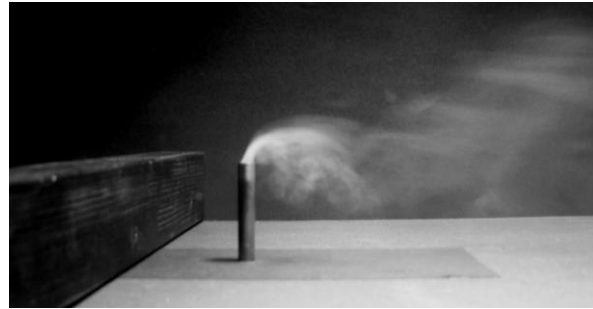
Rys.3 Niezakłócona smuga dymu z kominu wolnostojącego ; $u_h = 1,0$ m/s



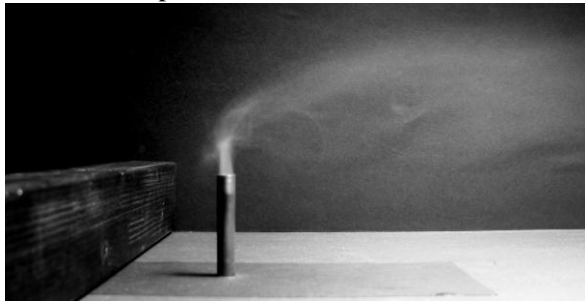
Rys.4. Niezakłócona smuga dymu z kominu wolnostojącego ; $u_h = 2,0$ m/s



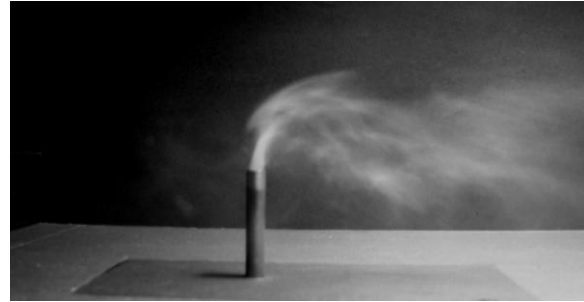
Rys. 5. Opływ „budynku” przez strumienie powietrza; $u_h = 1,0$ m/s.



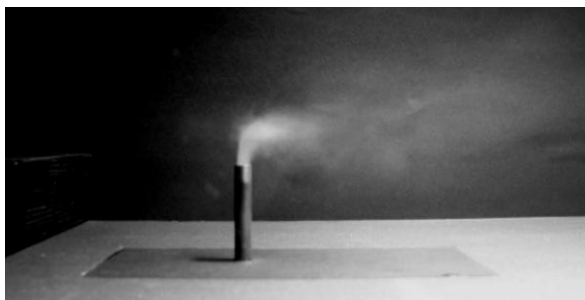
Rys. 6. Smuga emitowana w strefie cienia; $u_h = 1,0$ m/s ; $x_s = 1,6H_B$



Rys. 7. Smuga emitowana w strefie cienia; $u_h = 2,0$ m/s ; $x_s = 1,6H_B$



Rys. 8. Smuga emitowana w strefie cienia; $u_h = 1,0$ m/s ; $x_s = 4H_B$



Rys. 9. Smuga emitowana w strefie cienia; $u_h = 2,0$ m/s ; $x_s = 3H_B$



Rys. 10. Smuga emitowana w strefie cienia; $u_h = 1,0$ m/s ; $x_s = 6H_B$

Dla emitora o wysokości $h = H_B$ i odległościach $x_s = 1,6H_B$ do $x_s = 6H_B$ (przedstawionych na zdjęciach), wylot smugi gazu wskaźnikowego odbywa się w strefie cienia aerodynamicznego. Charakter dyfuzji różni się zdecydowanie od dyfuzji w smudze niezakłóconej. W zasięgu do $x_s = 6H_B$ występują intensywne fluktuacje w strumieniu gazu powodujące występowanie wysokich koncentracji dymu w strefie przyziemnej. Na podstawie przedstawionych zdjęć smug dymu można również wnioskować, że wzrost prędkości powietrza, również w przypadku emitatorów klasy II, sprzyja intensyfikacji turbulencji pionowej (rys. 6 i 7 oraz rys. 8 i 9).

Obserwacje z wizualizacji procesu potwierdzają wyniki pomiarów stężeń gazu wzorcowego. Na rys. 11 przedstawiono izolinie stężeń gazu wskaźnikowego emitowanego z komina wolnostojącego, zlokalizowanego poza zasięgiem cienia i śladu aerodynamicznego, dla $u_h = 1,0$ m/s i $w = 0,5$ m/s. Na rys. 12, 13 i 14 przedstawiono izolinie stężeń gazu emitowanego z komina wolnostojącego, znajdującego się w strefie cienia aerodynamicznego, dla $u_h = 1,0$ m/s oraz różnych wartości x_s/H_B .

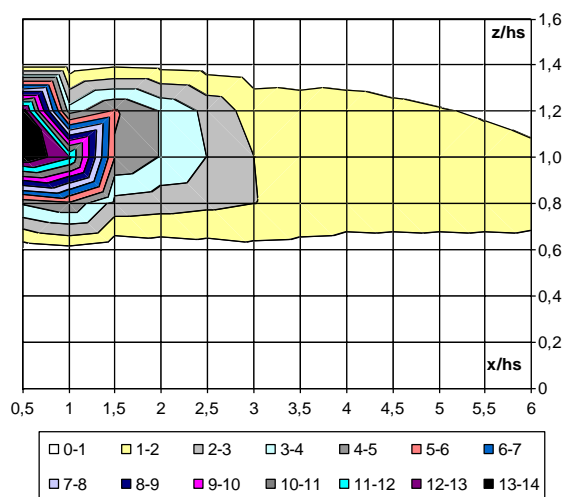
Przedstawiony na wykresach zakres pomiarów stężeń obejmował:

- w pionie od $z = 0$ do $z = 1,6H_B$,

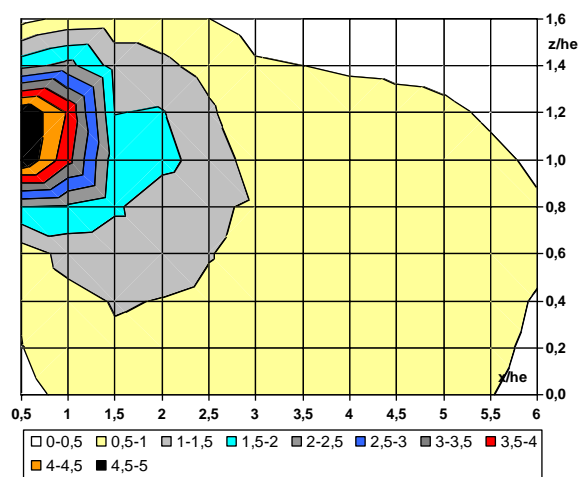
- w poziomie od $x = 0,5h_s$ do $x = 6h_s$, co oznacza zakres do $x = 6(7)H_B$ dla profili przedstawionych na rys. 11 i 12 oraz do $x = 12H_B$ – na rys. 13, czyli w pełnym zakresie strefy cienia aerodynamicznego.

Z przebiegu izolinii stężeń gazu wskaźnikowego wynika, że:

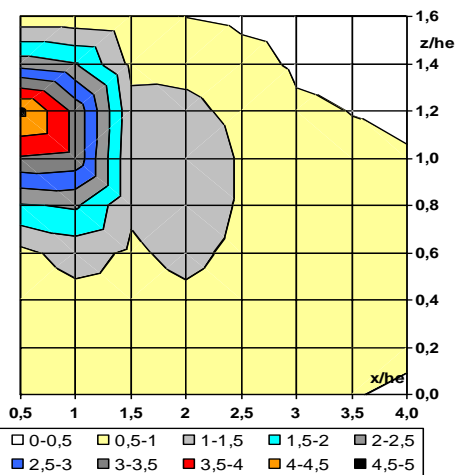
- smuga dymu ulega wyraźnemu odchyleniu ku dołowi, przy czym zjawisko to jest zdecydowanie wyraźniejsze dla odległości emitora od przeszkody: $x_s = 2H_B$ i $x_s = 6H_B$ (czyli w połowie i końcu zasięgu cienia) niż na początku strefy cienia (dla $x_s = H_B$),
- w oparciu o przebiegi izolinii stężeń można próbować określić zasięg strefy cienia aerodynamicznego; zwraca uwagę duża zgodność hipotetycznej krzywej granicznej cienia (rys. 2) z przebiegiem izolinii stężeń $S = 0,5\%$ (na rys. 11, 12 i 13).



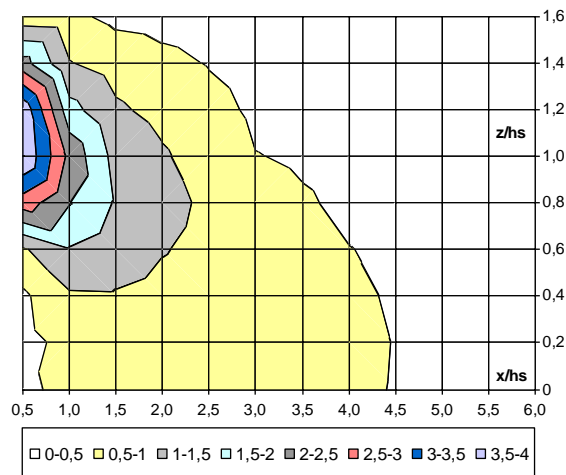
Rys. 11. Profil stężeń gazu wskaźnikowego – smuga niezakłócona, $w = 0,5$ m/s; $u_H = 1,0$ m/s



Rys. 12. Profil stężeń gazu wskaźnikowego; $u_H = 1,0$ m/s; $x_s = H_B$



Rys. 13. Profil stężeń gazu wskaźnikowego; $u_H = 1,0$ m/s; $x_s = 2H_B$



Rys. 14. Profil stężeń gazu wskaźnikowego; $u_H = 1,0$ m/s; $x_s = 6H_B$

4. Wnioski

Punktowe emitory niskie klasy II stwarzają istotne zagrożenie dla jakości powietrza. Stąd ważne jest określenie przebiegu krzywych granicznych strefy cienia i śladu aerodynamicznego, w którego zasięgu może być zlokalizowany wylot z emitora. Z przeprowadzonych badań modelowych wynika, że wykorzystując metodę wizualizacji

procesu oraz pomiarowego wyznaczenia profili stężeń gazu wskaźnikowego, można określić zakres strefy cienia dla określonej struktury przeszkody. Wyniki badań zweryfikowały równocześnie przebieg hipotetycznej krzywej cienia aerodynamicznego, wyznaczonej z zależności Eltermana.

Istotnym wnioskiem z badań jest stwierdzenie, że nawet w odległości $6H_B$ od ściany nawiewnej budynku, wywołane przez niego zakłócenia w przepływie powietrza mają istotny wpływ na warunki techniczne wypływu smugi z emitora punktowego oraz wynikającą z tego zwiększoną wartość stężeń zanieczyszczeń w strefie przyziemnej.

Literatura

1. Zannetti P.: Simulating Short-Term, Short-Range Air Quality Dispersion Phenomena, (in) Cheremisinoff P.N. Editor, Encyclopedia of Environmental Control Technology, Vol. 2 Air Pollution Control, Gulf Publishing Company, Houston, 1989.
2. Peterka J.A., Meroney R.N., Kothari K.M.: Wind flow patterns about buildings, J.Wind Eng. Ind. Aerodyn., 1985, 21, 21-38.
3. Elterman W.M.: Wentylacja w przemyśle chemicznym; WNT, Warszawa, 1985.
4. Meroney R.N., M. Pavageau, S. Radalidis, M. Schatzmann: Study of line source characteristics for 2-D physical modeling of pollutant dispersion in street canyons. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 1996, vol. 62, 37-56.
5. Oke T.R.: Street design and urban canopy layer climate. Energy Buildings, 1998, vol. 11, 103-113.
6. Gerdes F., D. Olivari : Analysis of pollutant dispersion on an urban street canyon. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 1999, vol. 82, 105-124.
7. Liu H., B. Liang, F. Zhu, B. Zhang, J. Sang: A Laboratory Model for the Flow in Urban Street Canyons Induced by Bottom Heating. Advances in Atmosph. Sci., 2003, vol. 20, 4, 554-564.
8. Ahmad K., M. Khare, K.K. Chaudhry: Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections – a review. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 2005, vol.93, 697-717.
9. Bagieński Z.: The analysis of dispersion of pollutants from short point sources – wind tunnel experimental investigation. Environ. Prot. Eng., 2006, Vol. 32, No.4 , 37-45.
10. Bagieński Z.: Wpływ prędkości i temperatury gazów emitowanych z niskich źródeł punktowych na ich dyspersję w kanionie ulicznym – badania modelowe. IX ogólnopolskie sympozjum: Zastosowanie Mechaniki Płynów w Inżynierii i Ochronie Środowiska; Gliwice-Wisła 2007; Politechnika Śląska, Mat. Sympozjum, 10-17.