



12

SZKOŁA AEROLOGII GÓRNICZEJ
KOMITET GÓRNICCTWA PAN
TARGANICE



Rola współczynników chropowatości wyrobisk w modelowaniu przyływu w sieciach wentylacyjnych kopalń podziemnych

Andrzej Szmuk ¹, Marek Borowski ²

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, szmuk@agh.edu.pl

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, borowski@agh.edu.pl



Wentylacja w kopalniach podziemnych



- » Bezpieczeństwo pracowników
- » Zapobieganie wybuchom
- » Regulacja mikroklimatu
- » Poprawa wydajności pracy
- » Ograniczanie rozprzestrzeniania się pożarów
- » Zgodność z przepisami
- » Monitorowanie jakości powietrza
- » Redukcja emisji



Podstawowe prawa dynamiki płynów



Prawo ciągłości. Opisuje zachowanie masy w przepływie powietrza. Ilość powietrza wpływającego do wyrobiska musi być równa ilości powietrza wypływającego.

$$Q = A \cdot v$$

gdzie Q to przepływ (m^3/s), A to pole przekroju (m^2), a v to prędkość przepływu (m/s).

Równanie Bernoulliego. Stosowane do analizy energii w przepływie powietrza.

$$\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gh = \text{const}$$

gdzie v to prędkość przepływu (m/s), p to ciśnienie (Pa), ρ to gęstość powietrza (kg/m^3), g to przyspieszenie ziemskie ($9,81 \text{ m/s}^2$), a h to wysokość (m).

Opór przepływu



Prawo Darcy-Weisbacha.

Opisuje straty ciśnienia w przewodach i kanałach, w tym wyrobiskach kopalnianych, jako funkcję prędkości przepływu, długości przewodu, średnicy przewodu i współczynnika tarcia.

$$\Delta p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

Gdzie: Δp to strata ciśnienia (Pa), f to współczynnik tarcia, L to długość przewodu (m), D to średnica przewodu (m), ρ to gęstość powietrza (kg/m³), a v to prędkość przepływu (m/s).

Chropowatość powierzchni wyrobisk.

Wpływa na współczynnik tarcia f w równaniu Darcy-Weisbacha.

Różne materiały i rodzaj powierzchni (np. skaliste, gładkie, szorstkie) mają różne wartości chropowatości, co wpływa na opory przepływu.



CFD (Computational Fluid Dynamics)

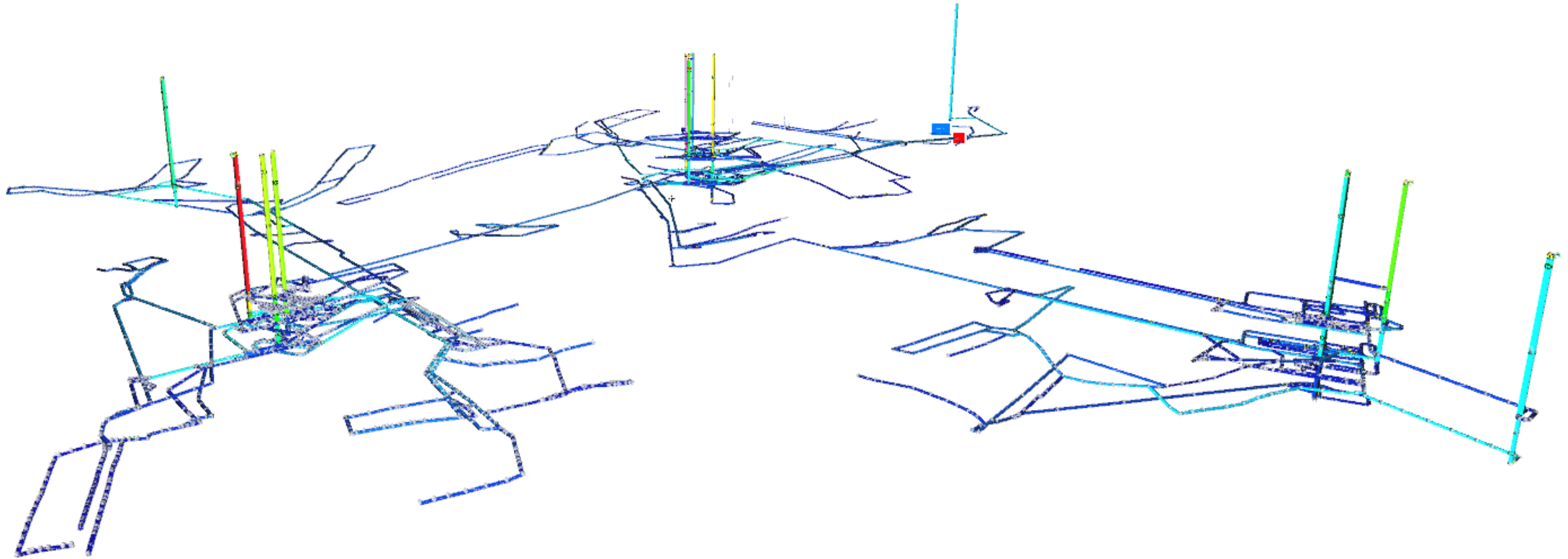
Umożliwia modelowanie skomplikowanych przepływów powietrza w trójwymiarowych strukturach kopalń.

Symulacje komputerowe

Wykorzystują zaawansowane algorytmy do obliczenia rozptywu powietrza w sieciach wentylacyjnych.

- VentGraph, AERO2014D, Vuma 3D;
- VentSim: JSW S.A., LW Bogdanka, KS Kłodawa, KS Wieliczka, tunele, CSRG S.A.

Kopalniana sieć wentylacyjny model 3D



Metodyka badania. Wyznaczenie średnich wartości współczynników chropowatości

Przegląd oporów aerodynamicznych bocznic wentylacyjnych w różnych wyrobiskach i kopalniach należących do JSW S.A., w celu stworzenia reprezentatywnej bazy danych.



Kategoryzacja bocznic wentylacyjnych z podziałem na: szyby, wyrobiska w obudowie typu ŁP bez odstawy, wyrobiska w obudowie typu ŁP z odstawą oraz wyrobiska ścianowe.



Selekcja bocznic wentylacyjnych do analizy przez wykluczenie tych, w których zainstalowane są tamy wentylacyjne, wentylatory, lub których długość jest mniejsza niż 100 metrów.



Metodyka badania. Wyznaczenie średnich wartości współczynników chropowatości

Wyznaczenie współczynnika chropowatości (Friction Factor) poprzez przekształcenie wzoru na spadek naporu powietrza, autorstwa J.J. Atkinsona, z uwzględnieniem zmiany gęstości powietrza spowodowanej temperaturą i głębokością.



Opracowanie algorytmu w języku Python dla wykonania obliczeń statystycznych na podstawie wyznaczonych współczynników chropowatości dla czterech typów wyrobisk górniczych.



Walidacja modelu numerycznego dla jednej z kopalń JSW S.A., z wykorzystaniem wyznaczonych współczynników chropowatości wyrobisk i porównanie wyników z rzeczywistymi pomiarami kluczowych węzłów sieci wentylacyjnej.



Formułowanie wniosków z przeprowadzonych badań.

Przyrządy pomiarowe wykorzystywane przy
wyznaczeniu oporów aerodynamicznych
i potencjałów izentropowych sieci kopalnianej



RĘCZNY BAROMETR TERMOMETR i HIGROMETR BAR-TH

Zakresy pomiarowe:

- ciśnienia: $800 \div 1300 \text{ hPa} \pm 25 \text{ Pa}$
- temperatury: $-20 \div +40 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- wilgotności: $0 \div 100 \% \text{ RH} \pm 1,8 \% (10-90\%)$

Przyrządy pomiarowe wykorzystywane przy wyznaczeniu oporów aerodynamicznych i potencjałów izentropowych sieci kopalnianej



Ręczny anemometr wirnikowy RAW

Zakresy pomiarowe:

- przepływu: $0,2 \div 20 \text{ m/s} \pm 1\%$
- strumienia obj.: $0 \div 9999 \text{ m}^3/\text{s}$
- temperatury: $-20 \div + 40 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Przyrządy pomiarowe wykorzystywane przy
wyznaczeniu oporów aerodynamicznych
i potencjałów izentropowych sieci kopalnianej



DWUCZUJNIKOWY MIERNIK CIŚNIENIA MC-10/100-2/Ex

Zakresy pomiarowe dla czujnika 1:

- Ciśnienie : $\pm 10 \text{ kPa} \pm 0,4\%$

Zakresy pomiarowe dla czujnika 2:

- Ciśnienie : $\pm 100 \text{ kPa} \pm 0,4\%$

Wyznaczenie oporów na podstawie pomiarów potencjałów

$$p_s = p_o \cdot \left(1 + \frac{g \cdot (z_o - z)}{c_p \cdot T_v}\right)^{\frac{H}{H-1}}$$

$$h = p - p_s$$

$$\Delta p = h_i - h_{i+1}$$

$$R = \frac{\Delta p}{\dot{V}^2}$$

gdzie:

p_o – ciśnienie powietrza atmosferycznego w przekroju zrębu szybu wdechowego, Pa;

z_o – wysokość niwelacyjna przekroju zrębu szybu wdechowego, m;

z – wysokość niwelacyjna środka przekroju bocznicy dla której wyznacza się potencjał, m;

g – przyspieszenie ziemskie, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$;

C_p – ciepło właściwe powietrza suchego przy stałym ciśnieniu, $C_p = 1005 \text{ J/kg deg}$;

H – wykładnik przemiany politropowej powietrza suchego, $H = 1,4$;

T_v – temperatura wirtualna powietrza atmosferycznego w przekroju zrębu szybu wdechowego, K.

Temperaturę wirtualną określa zależność:

R – opór właściwy, $\text{N} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^8$

$\dot{V}$ – wydatek powietrza, m^3 / s

Δp – strata naporu (różnica potencjałów pomiędzy węzłami sieci wentylacyjnej), Pa

Wyznaczenie oporów na podstawie współczynnika chropowatości / współczynnika proporcjonalności

$$\Delta p = \alpha \frac{LP}{F^3} \dot{V}^2 \longleftrightarrow \Delta p = R \dot{V}^2$$

$$k = \alpha = \frac{\lambda \cdot 1,2}{8} \quad f(F) = \frac{2 \cdot k}{1,2} \quad \lambda = \frac{8 \cdot \alpha}{1,2}$$

$$FF = \Delta p \frac{2d}{\rho \dot{V}^2}$$

$$R = \frac{\Delta p}{\dot{V}^2}$$

α - współczynnik proporcjonalności,

k - współczynnik chropowatości,

λ - współczynnik oporu liniowego,

$f(FF)$ - współczynnik chropowatości (Friction Factory)

d - średnica hydrauliczna, m

ρ - gęstość, kg/m

L - długość wyrobiska, m

P - obwód wyrobiska, m

F - pole przekroju, m²

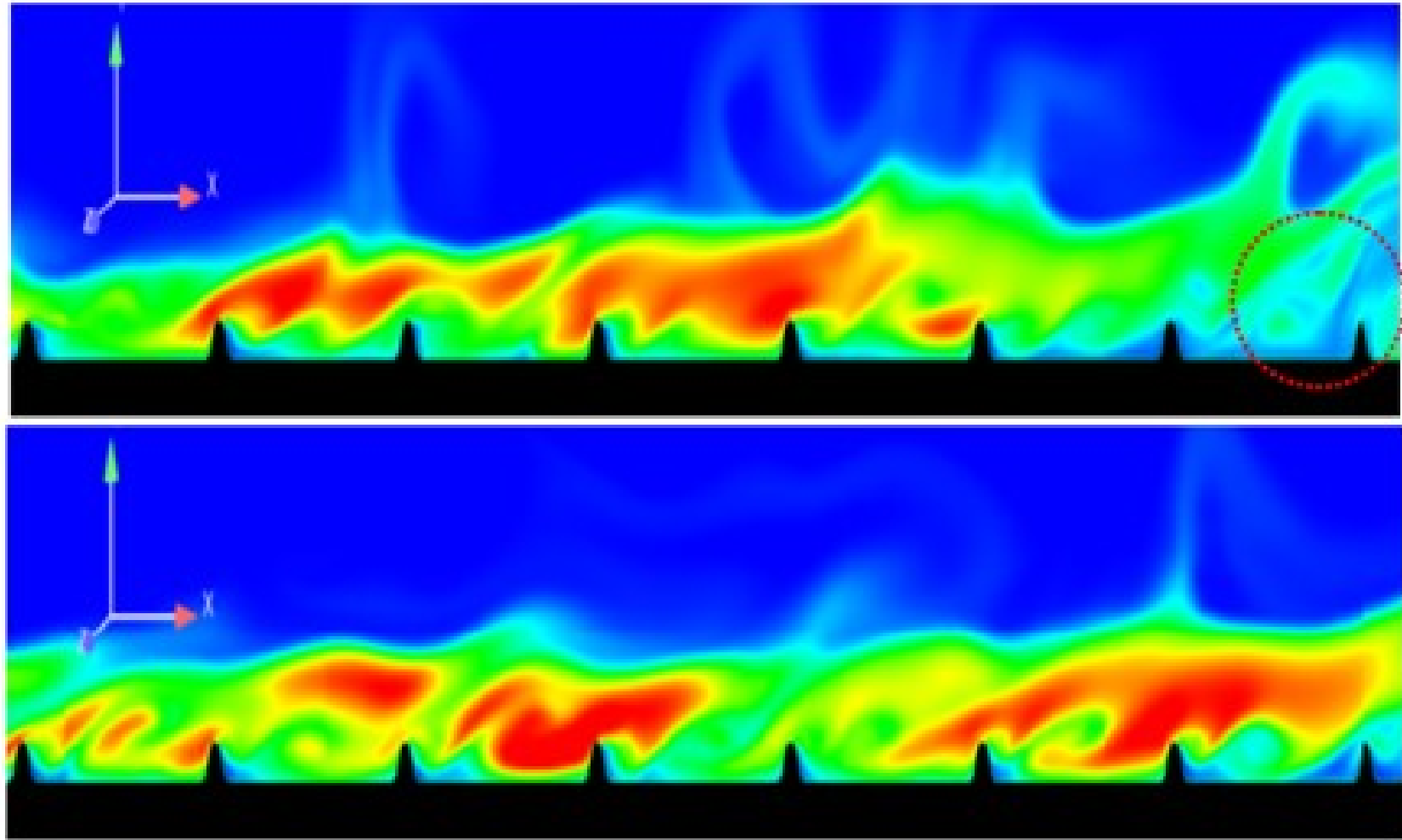
$\dot{V}$ - wydatek powietrza, m³ /s

R - opór właściwy, N · s² /m⁸

$\dot{V}$ - wydatek powietrza, m³ /s

Δp - strata naporu (różnica potencjałów pomiędzy węzłami sieci wentylacyjnej), Pa

Rozkład pola prędkości powietrza w strefie przyociosowej wg. P. Skotniczy i P. Ostrogórski (2018r.)



Błędy pomiarowe przy wyznaczaniu oporów w bocznicach wentylacyjnych

- » zmiany ciśnienia barometrycznego podczas pomiarów,
- » pulsacyjny charakter przepływu turbulentnego powietrza,
- » dokładność urządzeń pomiarowych,
- » zmiany w stanie sieci wentylacyjnej (np. otwieranie tam wentylacyjnych, ruch transportowy),
- » niewielkie spadki ciśnienia w krótkich bocznicach,
- » lokalne źródła energii,
- » nierówności spągu (określenie koty niwelacyjnej pomiaru),
- » niedokładności w wyznaczaniu przekroju wyrobiska i średniej prędkości powietrza,
- » zmienność współczynnika chropowatości,
- » błędy ludzkie przy odczycie danych pomiarowych oraz inne.

Badanie: Wyznaczenie średnich wartości współczynników chropowatości

Ilość bocznic zaklasyfikowanych do badania
statystycznego w podziałem na grupy

Szyby	46 bocznic
Wyrobyiska w obudowie ŁP - bez odstawy	515 bocznic
Wyrobyiska ŁP z odstawą	49 bocznic
Wyrobyiska ścianowe (wybierkowe)	18 bocznic

Z bazy bocznic wykluczono te bocznicie w których zabudowane są tamy wentylacyjne, wentylatory lub ich długość jest krótsza aniżeli 100m. Zabieg ten ma na celu ograniczenia wyrobisk które ze względu na mały spadek naporu (krótkie wyrobiska przy małej prędkości powietrza), a związku z tym dużym prawdopodobieństwem, że ich obór właściwy (R) został wyznaczony z dużym błędem.

Wycinek danych wejściowych (szyby) i analiza statystyczna

D	R100	A	rho	v	Q	ΔP	L	Oz	k	f	λ
m	kg/m ⁷	m ²	kg/m ³	m/s	m ³ /s	Pa	m	m	kg/m ³	-	-
6.43	0.002632	32.5	1.25	5.75	186.9	91.9	100	20.2	0.0429	0.0716	0.2981
5.07	0.008355	20.2	1.26	3.55	71.7	43.0	100	15.9	0.0412	0.0686	0.2882
7.11	0.001061	39.7	1.2	9.38	372.3	147.0	100	22.3	0.0297	0.0495	0.1982
7.20	0.000922	40.7	1.28	6.22	253.3	59.2	100	22.6	0.0258	0.0429	0.1832
(...)											
8.00	0.000528	50.2	1.17	3.96	198.9	20.9	100	25.1	0.0273	0.0454	0.1772

Analiza statystyczna dla szybów

Dane	J.m.	Odchyl. stand.	Wartości średnie	Wartości mediany	Wartości moda	Wartości minimalne	Wartości maksymalne	Zakres wartości	Wariancja danych	Miara asymetrii danych
D	m	0.906242	7.020736	7.138306	6.434382	5.07272	9.001062	3.928342	0.821274	-0.1997
R100	kg/m ⁷	0.001801	0.001851	0.001176	0.000304	0.000304	0.008355	0.008051	3.24E-06	2.180314
A	m ²	9.902955	39.32391	40	32.5	20.2	63.6	43.4	98.06853	0.168239
rho	m ²	0.042015	1.222391	1.22	1.21	1.14	1.31	0.17	0.001765	-0.07189
v	m/s	1.8154	5.108257	4.705912	2.01626	2.01626	10.17632	8.160062	3.295677	0.657223
Q	m ³ /s	89.05678	201.2001	184.9	71.7	71.7	404	332.3	7931.109	0.696195
delP	Pa	42.34416	57.97794	47.36186	6.023733	6.023733	163.2824	157.2587	1793.028	1.170469
L	m	0	100	100	100	100	100	0	0	0
Oz	m	2.845599	22.04511	22.41428	20.20396	15.92834	28.26333	12.33499	8.097436	-0.1997
k	kg/m ³	0.022622	0.037264	0.032127	0.011484	0.011484	0.145051	0.133567	0.000512	2.812259

Legenda:

D - średnica, m

R100 – opór dla 100mb, kg/m⁷

A – Przekrój, m²

rho – gęstość, kg/m³

v – prędkość, m/s

Q – wydatek, m³/s

ΔP – spadek naporu, Pa

L- długość wyrobiska, m

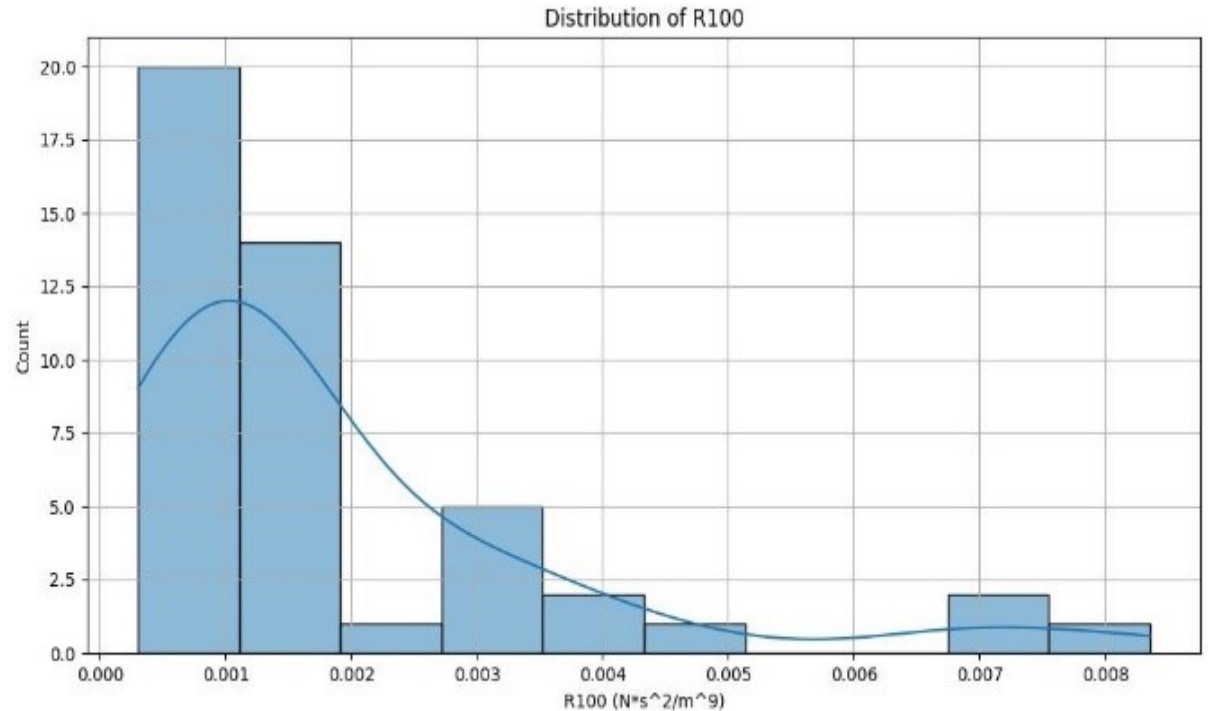
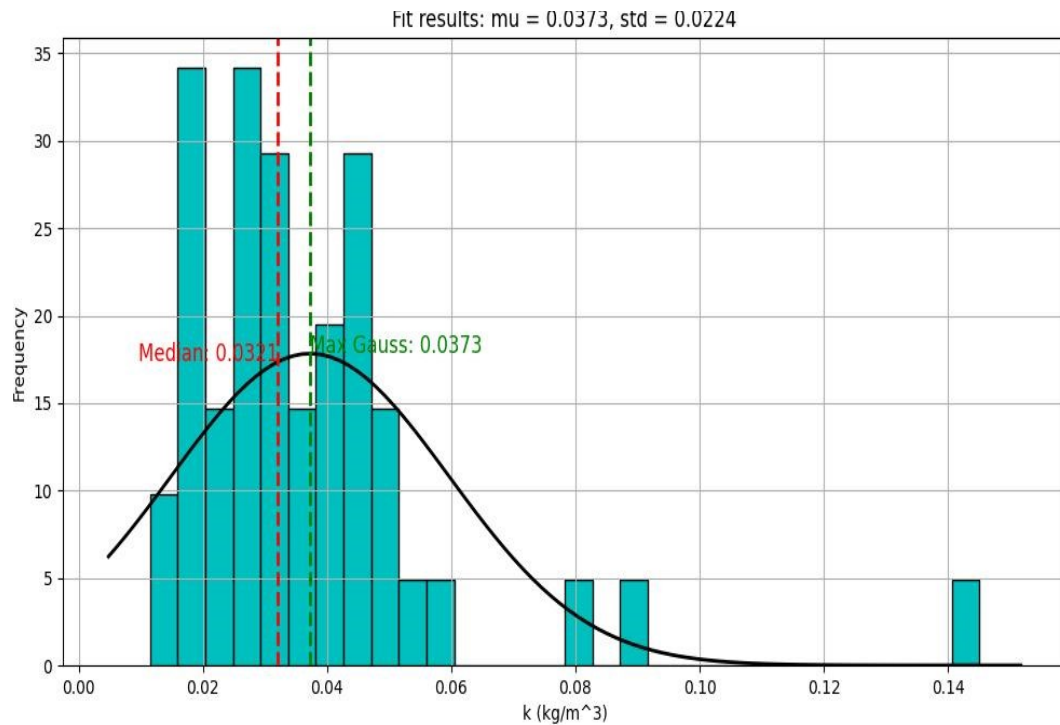
Qz – obwód, m

α - współczynnik proporcjonalności

k - współczynnik chropowatości

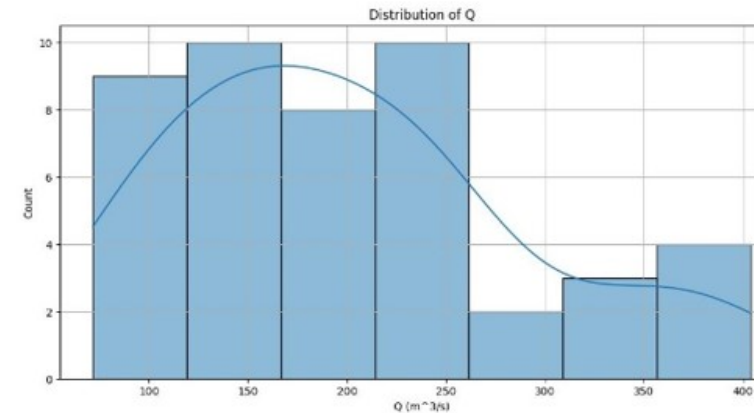
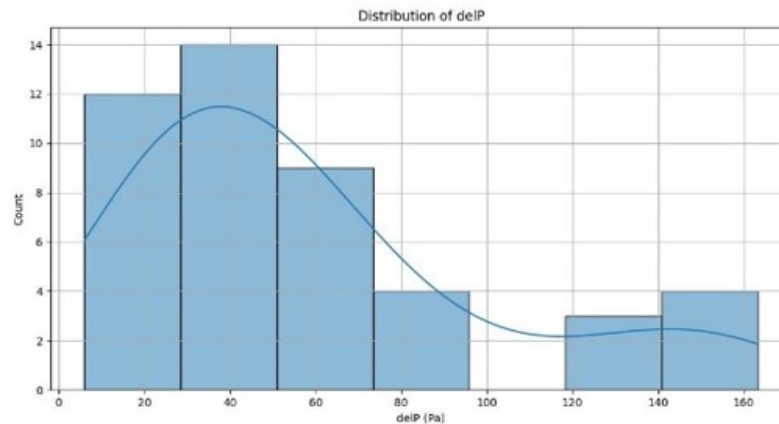
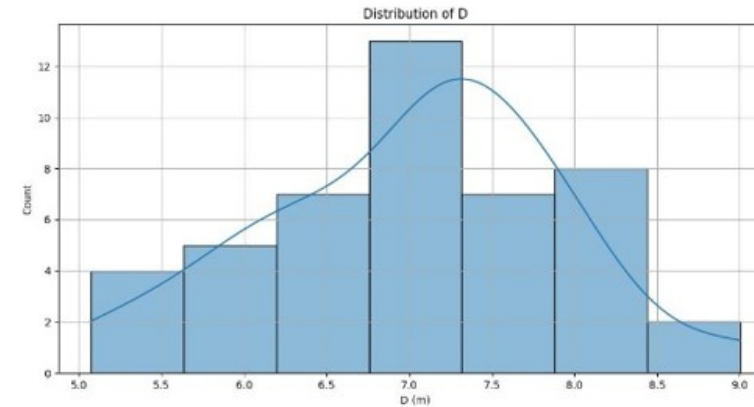
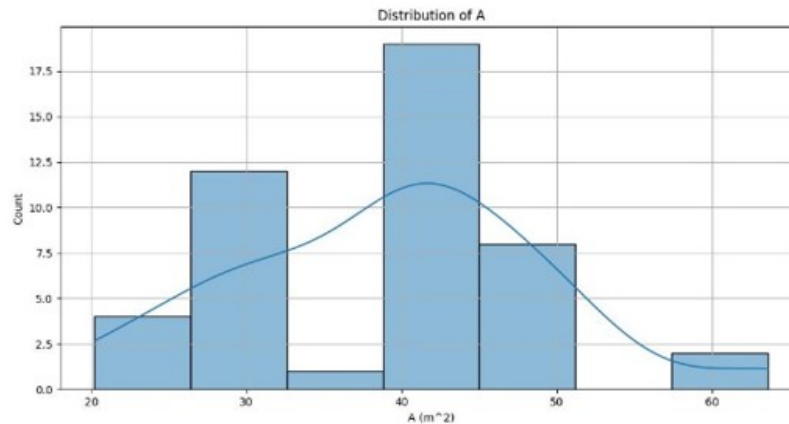
λ - współczynnik oporu liniowego

Wyniki: Szybby



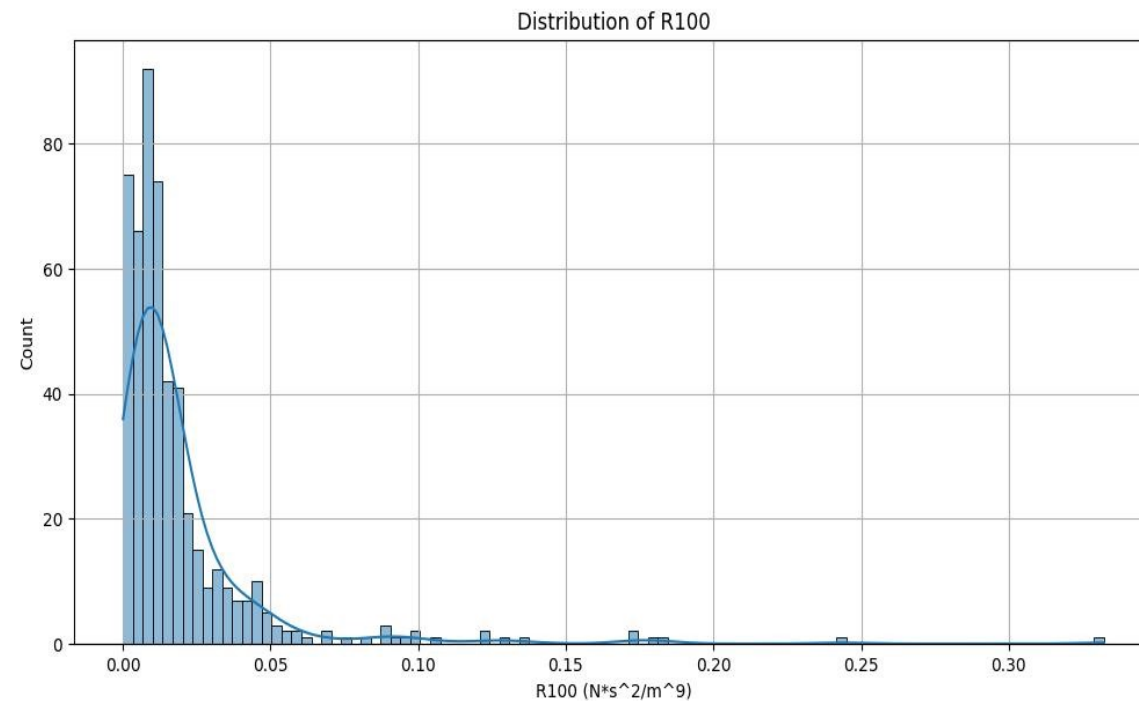
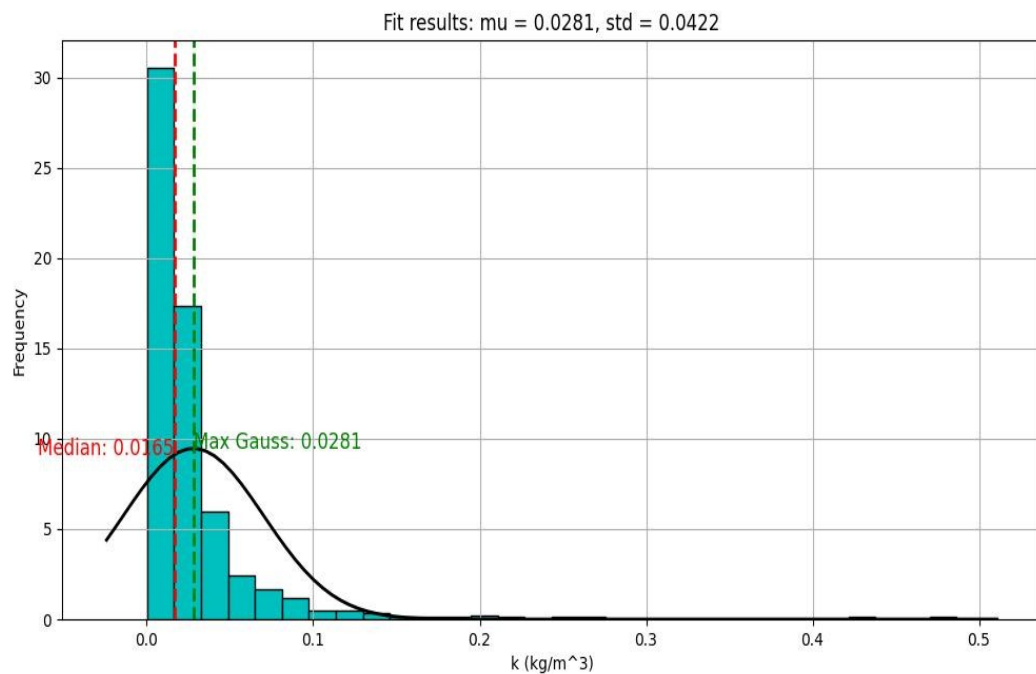
Wynik: **FF= 0,0321** - dla szybów

Wyniki: Szybby



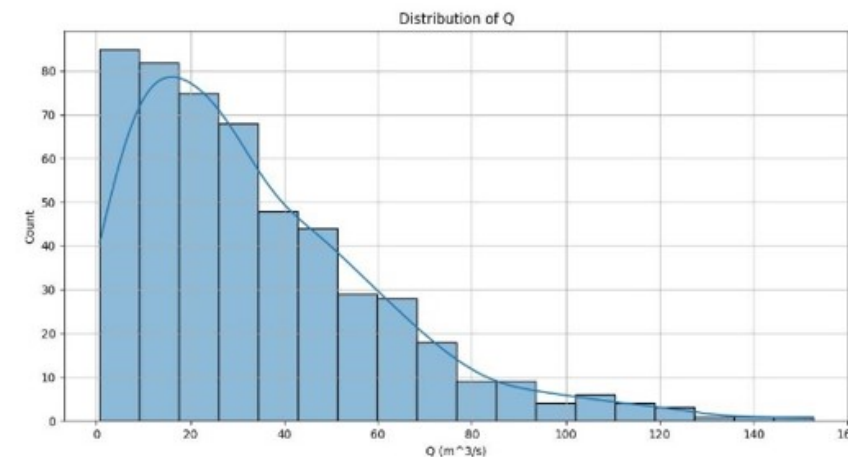
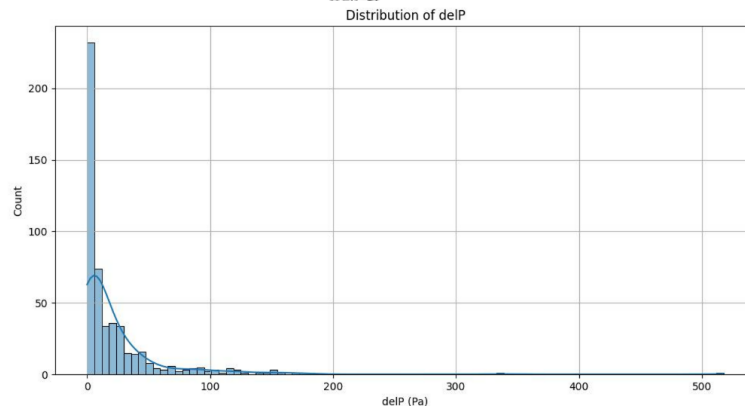
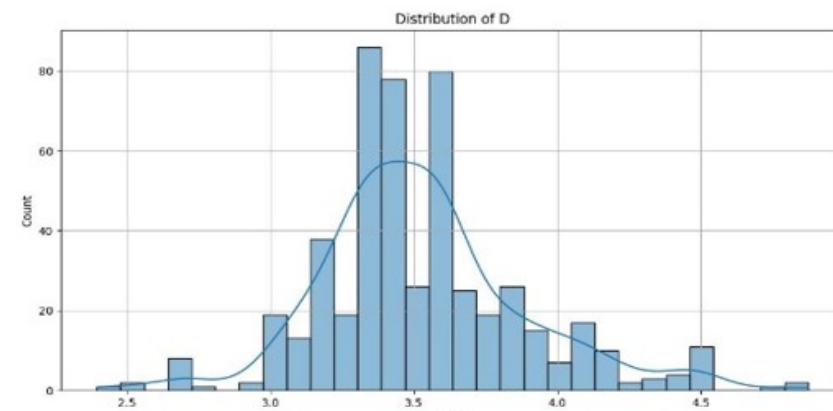
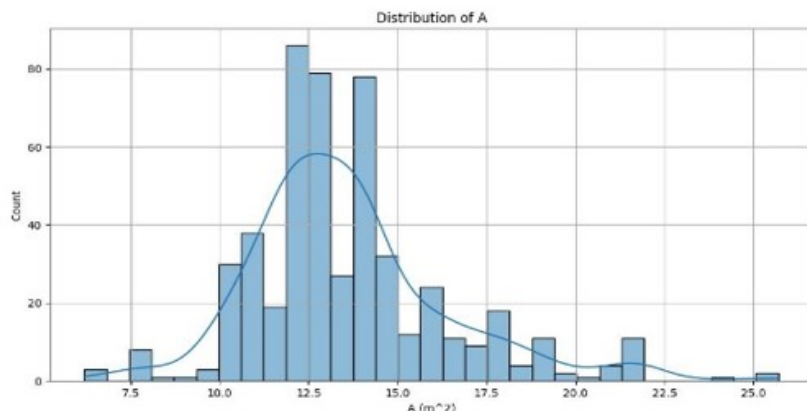
Wynik: **FF= 0,0321** - dla szybów

Wyniki: Wytrobiska w obudowie ŁP - bez odstawy



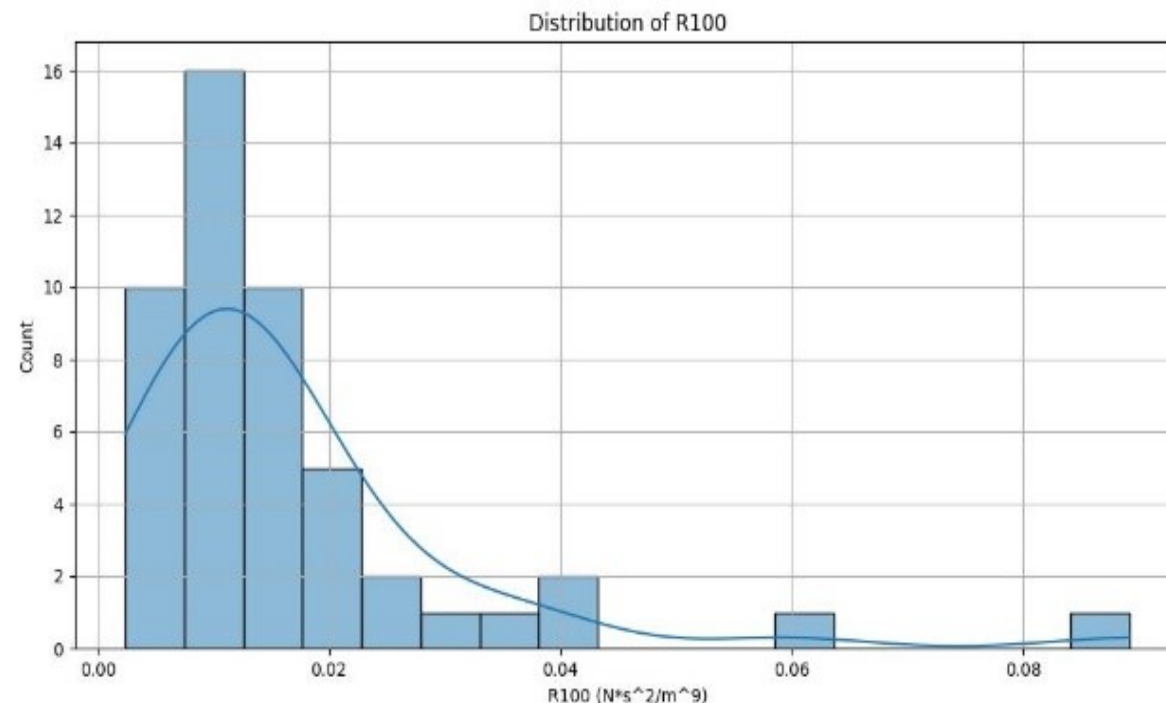
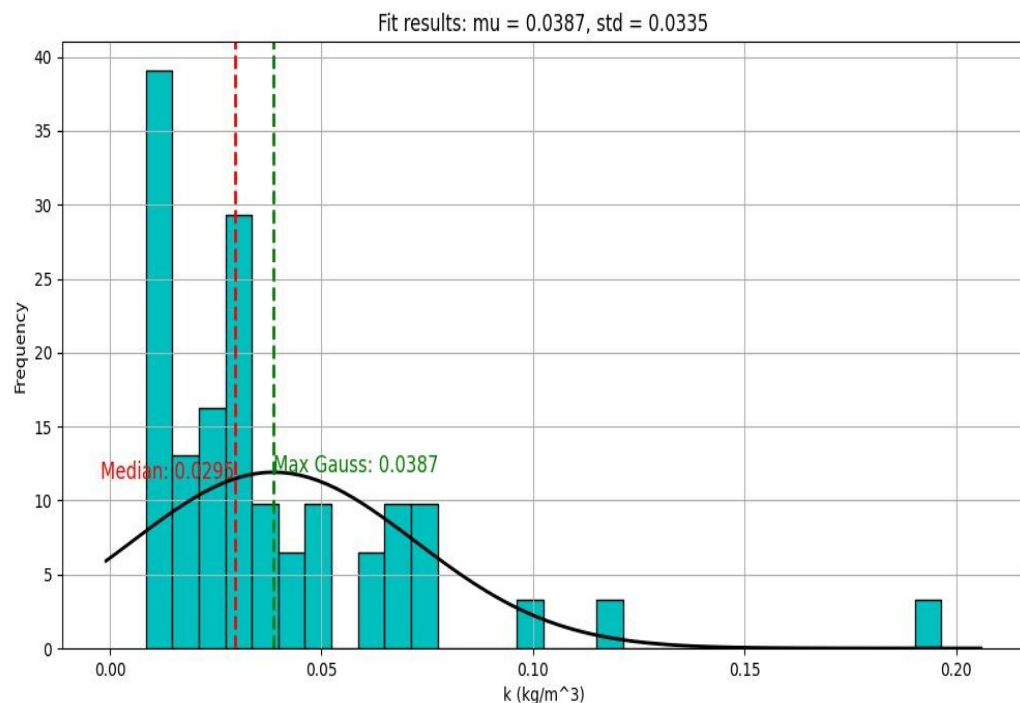
Wynik: **FF= 0,0165** - wytrobiska w obudowie ŁP - bez odstawy

Wyniki: Wytrobiska w obudowie ŁP - bez odstawy



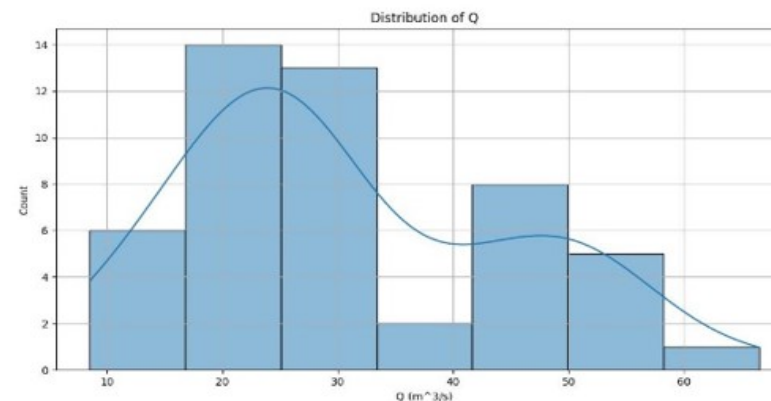
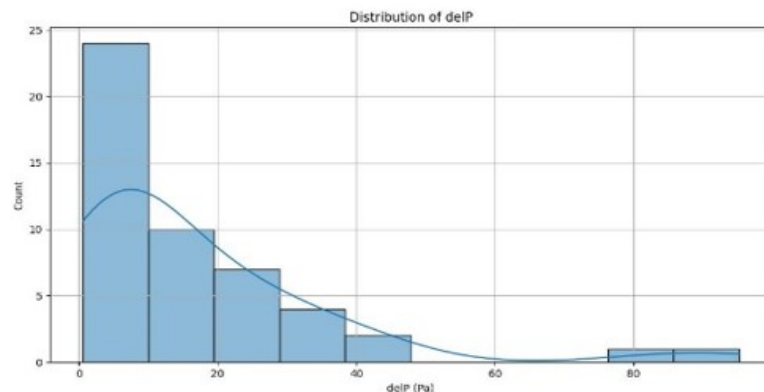
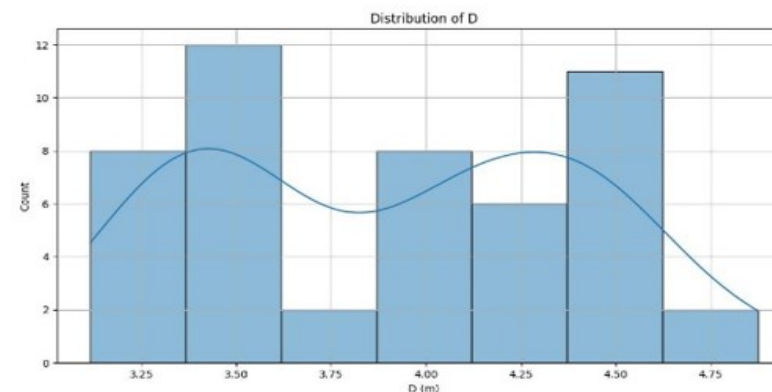
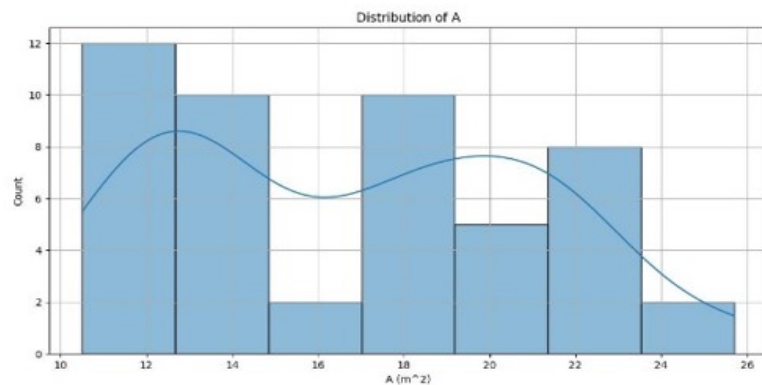
Wynik: **FF= 0,0165** - wytrobiska w obudowie ŁP - bez odstawy

Wyniki: Wytrobiska w obudowie ŁP – z odstawą



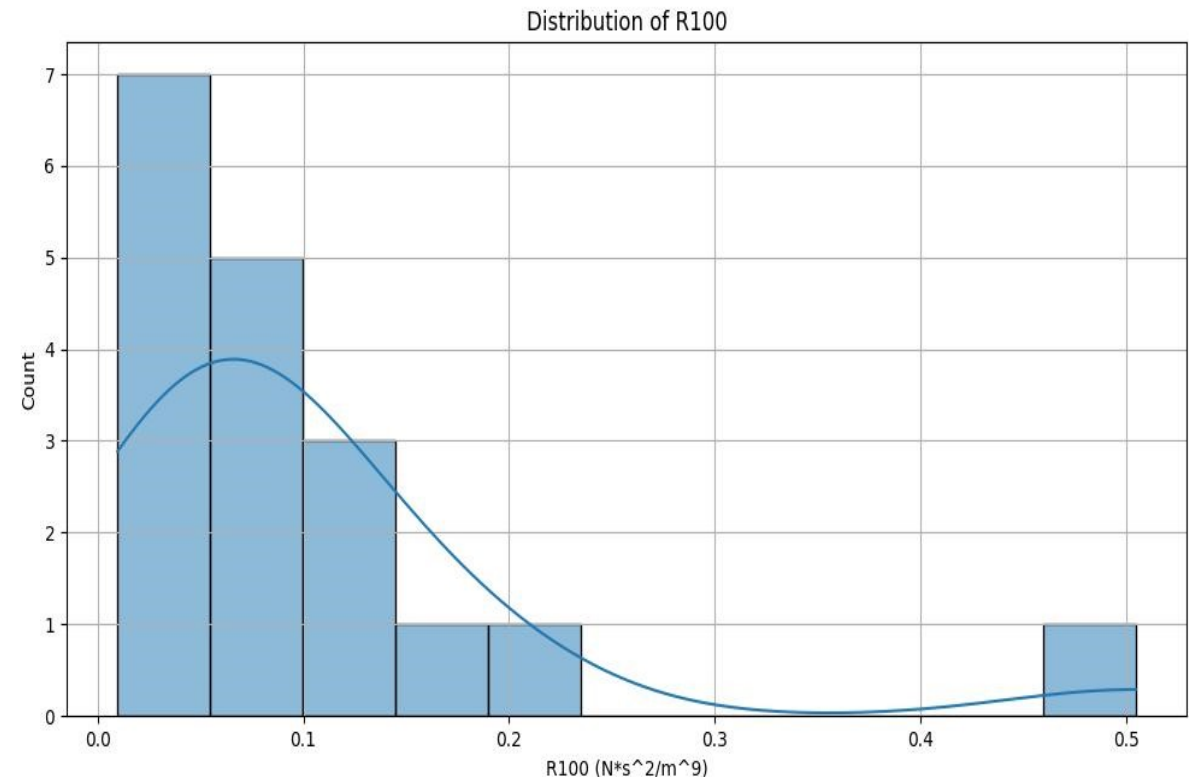
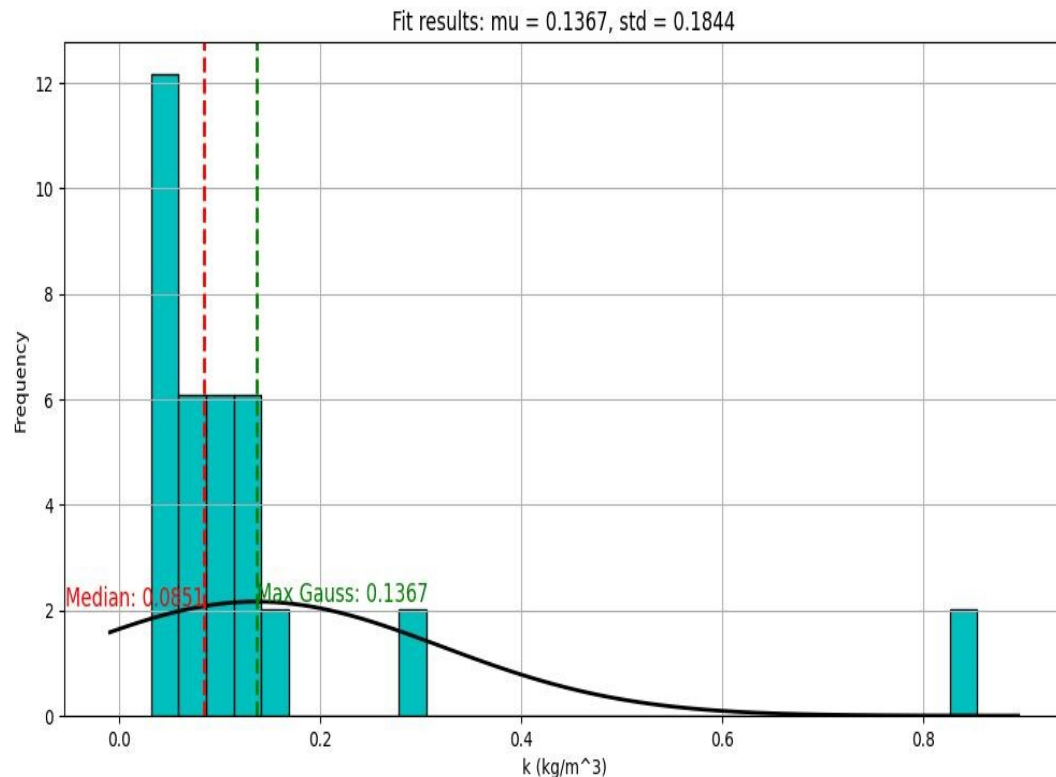
Wynik: **FF= 0,0295** - wytrobiska w obudowie ŁP - z odstawą

Wyniki: Wytrobiska w obudowie ŁP – z odstawą



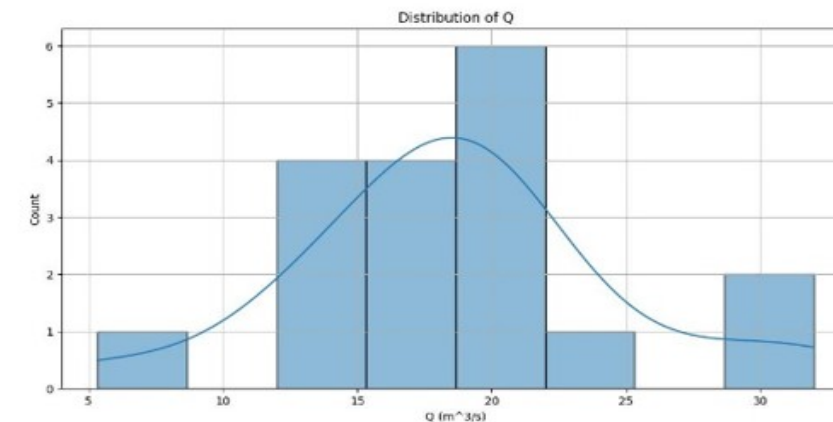
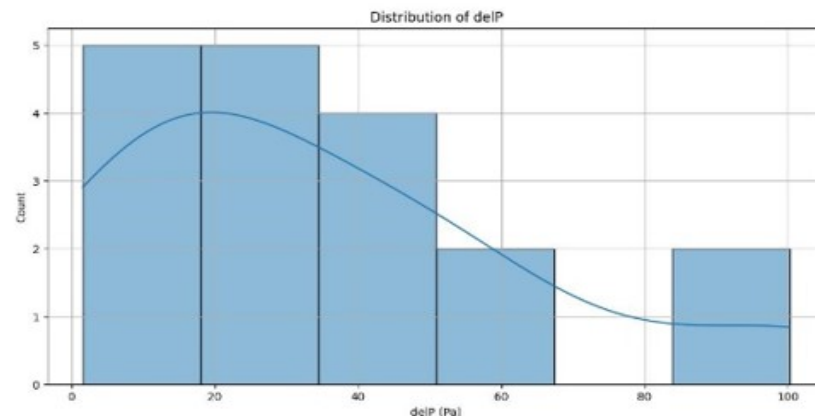
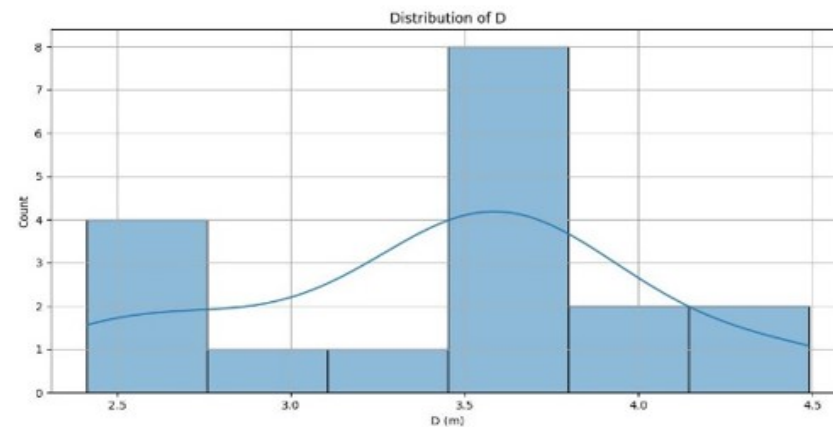
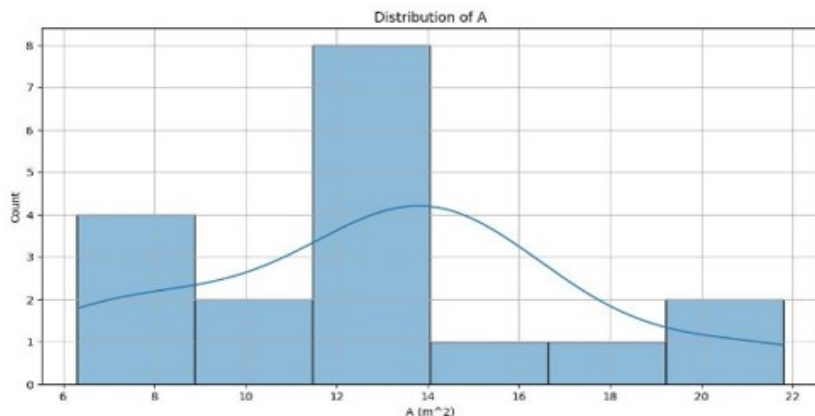
Wynik: **FF= 0,0295** - wytrobiska w obudowie ŁP - z odstawą

Wyniki: Ściany (wytrobiska wybierkowe)



Wynik: **FF= 0,0851** – ściany – (wytrobiska wybierkowe)

Wyniki: Ściany (wytrobiska wybierkowe)



Wynik: **FF= 0,0851** – ściany – (wytrobiska wybierkowe)

Podsumowanie wyników

Podsumowanie wyników wyznaczenia współczynnika chropowatości FF (Friction Factory) dla typowych wyrobisk w kopalniach węgla kamiennego

Szyby	FF= 0,0321
Wyrobiska w obudowie ŁP - bez odstawy	FF= 0,0165
Wyrobiska ŁP z odstawą	FF= 0,0295
Wyrobiska ścianowe (wybierkowe)	FF= 0,0851



Opracowanie wytycznych dla nowo budowanych lub walidowanych modeli w programie VentSim lub innych które pozwalają na wyznaczenie oporów bocznic z wykorzystaniem współczynnika chropowatości FF



Etap I - odwzorowanie kopalni w przestrzeni.

Na tym etapie należy wyznaczyć wszystkie osie istniejących wyrobisk z map cyfrowych do polilini 3D w programie AutoCAD z uwzględnieniem układu współrzędnych.

Dobłą praktyką jest na tym etapie podział na pliki w których interpretuje się osobno poziomy, a osobno pokłady. Sytuacją idealną jest przeniesienie wszystkich wyrobisk które powstały od początku powstania kopalni.

Etap II - nadanie wyrobiskom atrybutów.

Integrację wszystkich dostępnych danych z dostępnych źródeł w celu nadania odpowiednich cech fizycznych z wstępnym przypisaniem odpowiednich współczynników chropowatości wyrobisk np. średnice szybów z wyposażeniem, szerokość i wysokość wyrobisk, średnice otworów wentylacyjnych.



Opracowanie wytycznych dla nowo budowanych lub walidowanych modeli w programie VentSim lub innych które pozwalają na wyznaczenie oporów bocznic z wykorzystaniem współczynnika chropowatości FF



ETAP III - wprowadzanie urządzeń i tam wentylacyjnych

*W tym etapie należy wprowadzić charakterystyki używanych wentylatorów oraz lokalizację tam wentylacyjnych. **Ważne, aby tamy wprowadzone zostały już z aktualnym oporem.** (W celu jego wyznaczenia należy wykonać pomiar spadku naporu oraz ilości powietrza w bocznicy i wyniki pomiarów przenieść do programu.)*



Opracowanie wytycznych dla nowo budowanych lub walidowanych modeli w programie VentSim lub innych które pozwalają na wyznaczenie oporów bocznic z wykorzystaniem współczynnika chropowatości FF



ETAP IV - wykonanie badania potencjałów izentropowych w sieci kopalnianej.

Podstawowy problem z prawidłowym wykonaniem zdjęcia potencjalnego kopalni jest występowanie szeregu błędów (niedokładności) pomiarów ciśnienia barometrycznego na dole kopalni (wpływ otwierania lub zamykania tam wentylacyjnych, ruch kolejek lub klatki maszyny wyciągowej, zmiana ciśnienia atmosferycznego, zmiana ciśnienia barometrycznego na dole kopalni).

W wyrobiskach z bardzo małą ilością powietrza, spadek naporu jest często poniżej błędu pomiarowego barometru. Nie bez znaczenia są błędy wykonane przez pracowników wykonujących pomiary (np. pomyłka odczytu lub zapisu godziny, ciśnienia lub temperatury itp.).

Ważną cechą w programie VentSim jest możliwość automatycznego przypisania oporów wyrobiska bez wykonania zdjęcia potencjalnego na podstawie znanej długości, przekroju i typu obudowy wyrobiska lub jego funkcji.



Opracowanie wytycznych dla nowo budowanych lub walidowanych modeli w programie VentSim lub innych które pozwalają na wyznaczenie oporów bocznic z wykorzystaniem współczynnika chropowatości FF



ETAP IV – cd.

•opory w szybach mogą odpowiadać za 30-40 % oporu kopalni - dlatego wyznaczenie ich poprawnie jest najważniejsze. Należy wykonywać je dla każdego poziomu osobno w okresach średniorocznych depresji naturalnych (miesiące marzec - kwiecień lub wrzesień październik). W przypadku wstępnej walidacji modelu do czasu dokładnego badania oporów w szybach należy przyjąć $FF = 0,0321$;

•opory w grupowych prądach powietrza, podobnie jak w przypadku szybów, należy wykonać bardzo starannie - odpowiadają za 25-35 % oporu kopalni w czasie wstępnej walidacji modelu lub do czasu wykonania dokładnych badań, należy przyjąć współczynnik:
Wytrobiska w obudowie ŁP - bez odstawy $FF = 0,0165$
Wytrobiska ŁP z odstawą $FF = 0,0295$



Opracowanie wytycznych dla nowo budowanych lub walidowanych modeli w programie VentSim lub innych które pozwalają na wyznaczenie oporów bocznic z wykorzystaniem współczynnika chropowatości FF



ETAP IV – cd.

- **opór wyrobisk wybierkowych jest zmienny w czasie i potrafi zmieniać się w ciągu doby w dużym zakresie** (przy trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych), dlatego wartości przyjęto jako mediana dla typu wyrobiska wybierkowego $FF = 0,0851$
- **opór w wyrobiskach o znanym średnim przekroju poprzecznym oraz z długością do 200m i prędkością powietrza do 2 m/s wyznaczono na podstawie obliczeń sugerowanych w programie uwzględniając funkcję wyrobiska** (np. zabudowa odstawy) - obarczone to jest mniejszym błędem aniżeli pomiary bezpośrednie.

Współczynnik chropowatości wynosi:

Wyrobiska w obudowie ŁP - bez odstawy $FF = 0,0165$

Wyrobiska ŁP z odstawą $FF = 0,0295$



Opracowanie wytycznych dla nowo budowanych lub walidowanych modeli w programie VentSim lub innych które pozwalają na wyznaczenie oporów bocznic z wykorzystaniem współczynnika chropowatości FF



UWAGA!

Wprowadzając wymiary wyrobisk przyjmujemy szerokość i wysokość do ociosów odejmując nie odejmując z przekroju zawężenia światła wyrobiska (jest to już skompensowane poprzez dobranie odpowiedniego współczynnika chropowatości dla danego typu wyrobiska),

ETAP V - uszczegółowienie modelu kopalni o dane związane z emisją metanu w wyrobiskach, zabudową chłodnic powietrza, wyznaczeniem tras kolejek spalinowych oraz mocy silników, wskazanie rozlewisk wody, wskazanie wyrobisk z zabudowanym przenośnikiem taśmowym itp.

Na tym etapie należy wprowadzać do modelu tylko istotne dane, które mogą mieć duży wpływ na temperaturę powietrza, wyznaczenie dróg ucieczkowych lub być potrzebne w czasie prowadzenia akcji ratowniczej. Wprowadzenie każdego szczegółu budowy kopalni może powodować nieprzejrzystość modelu i spowolnić obliczenia algorytmów programu.



Ocena dokładności odwzorowania sieci wentylacyjnej z modelem numerycznym sieci wentylacyjnej w programie VentSim.

Wykonano model kopalni 3D w programie VentSim kierując się opracowanymi wytycznymi (ETAP I-IV)

Główne założenia:

- Wprowadzono wartości oporów dla każdej tamy wentylacyjnej na podstawie pomiarów.
- Dla poszczególnych typów wyrobisk (Szyby, wyrobiska w obudowie ŁP z odstawą, wyrobiska w obudowie ŁP bez odstawy, wyrobiska wybierkowe (ściany) przypisano odpowiednie wartości współczynników chropowatości).
- **Opór wyrobisk wyznaczony na podstawie zdjęcia potencjalnego wykonano tylko dla odcinków szybów (do pierwszego poziomu), oraz wyrobisk z odstawą lub bez, gdzie prędkość powietrza wynosiła >2 m/s przy równoczesnej długości wyrobiska powyżej 200m. (ok. 80% oporów zostało wyznaczonych tylko na podstawie przekroju, współczynnika chropowatości dla danego typu wyrobiska).**

Ocena dokładności odwzorowania sieci wentylacyjnej z modelem numerycznym sieci wentylacyjnej w programie VentSim.

Porównanie wyników symulacji w programie VentSim z pomiarami rzeczywistymi.

Porównanie Ilości powietrza na szybach:

	Szyb A	Szyb B	Szyb D	Szyb C	Szyb E	X (bocznica łącząca z innym zakładem górnictwem)
Pomiary	14030	14860	9940	24080	13670	2480
VentSim	14710	15456	9622	25337	13700	2473
Różnica	4,8%	4,0%	-3,2%	5,2%	0,2%	-0,3%

Ocena dokładności odwzorowania sieci wentylacyjnej z modelem numerycznym sieci wentylacyjnej w programie VentSim.

Porównanie wyników symulacji w programie VentSim z pomiarami rzeczywistymi.

Porównanie punktów pracy wentylatorów głównego przewietrzania:

	Wentylatory przy szybie C	
	Ciśnienie przed zasuwą, Pa	Ciśnienie w szybie, Pa
Pomiary <u>AKPiA</u>	-4000	-3750
VentSim	-3673	-3116
Różnica	-8,2%	-16,9%

	Wentylatory przy szybie D	
	Ciśnienie przed zasuwą, Pa	Ciśnienie w szybie, Pa
Pomiary AKPiA	-3230	-2960
VentSim	-3166	-2964
Różnica	-2,0%	0,1%

Podsumowanie

- » Zrozumienie zasad dynamiki płynów jest kluczowe do efektywnego modelowania przepływu powietrza w kopalniach.
- » Współczynniki chropowatości mają istotny wpływ na opory przepływu, co należy uwzględniać w modelach matematycznych.
- » Opracowano wytycznych dla nowo budowanych lub walidowanych modeli w programie VentSim lub innych które pozwalają na wyznaczenie oporów bocznic z wykorzystaniem współczynnika chropowatości FF.

Podsumowanie

Podsumowanie wyników wyznaczenia współczynnika chropowatości FF (Friction Factory) dla typowych wyrobisk w kopalniach węgla kamiennego

Szyby	FF= 0,0321
Wyrobiska w obudowie ŁP - bez odstawy	FF= 0,0165
Wyrobiska ŁP z odstawą	FF= 0,0295
Wyrobiska ścianowe (wybierkowe)	FF= 0,0851



Dziękuję za uwagę

Andrzej Szmuk ¹, Marek Borowski ²

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, szmuk@agh.edu.pl

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, borowski@agh.edu.pl