

WeRe

Obliczenia dla
systemów wentylacji i rekuperacji
w przemyśle papierniczym

Oprogramowanie wersja 1.0

Instrukcja użytkownika

© 2015, Michał Głębowski,
Politechnika Łódzka,
Instytut Papiernictwa i Poligrafii

Instrukcja do wersji konsolowej (bez interfejsu graficznego)

Zawartość

1	Wstęp.....	3
1.1	Wymagania	3
2	Działanie programu.....	3
2.1	Uruchamianie programu	3
2.1.1	Sposób podstawowy	3
2.1.2	Sposób prosty	3
2.2	Format pliku wejściowego	4
2.2.1	Format pliku INI	4
2.2.2	Dane w pliku ini dla programu WeRe	4
2.2.3	Pierwszy przewód	7
2.3	Obliczenia w programie	8
2.3.1	Obliczanie średniej dla przekroju prostokątnego	8
2.3.2	Obliczanie średniej dla przekroju okrągłego	9
2.3.3	Uśrednianie liczby odczytów.....	10
2.4	Obliczenia parametrów wyjściowych.....	10
2.4.1	Obliczanie prędkości powietrza	10
2.4.2	Obliczanie natężenia przepływu	10
2.5	Obliczenia parametrów powietrza wilgotnego	11
2.6	Formaty plików wyjściowych	11
3	Literatura	13

1 Wstęp

Oprogramowanie WeRe powstało w celu ułatwienia i przyspieszenia obliczeń na podstawie pomiarów wykonanych w systemach wentylacji i rekuperacji maszyny papierniczej.

1.1 Wymagania

Program działa pod kontrolą systemu MS Windows XP lub nowszego. Program działa z poziomu linii komend – jest to aplikacja konsolowa. Istnieje wersja programu posiadająca graficzny interfejs. Jej opis znajduje się w osobnym dokumencie.

2 Działanie programu

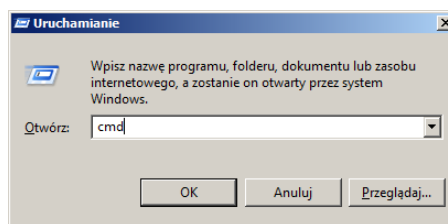
Program WeRe jako aplikacja konsolowa nie posiada interfejsu graficznego, a komunikuje się poprzez linię komend oraz pliki wyjściowe. Z tego powodu program nie wymaga żadnej wiedzy do jego obsługi, należy jedynie znać format pliku wejściowego.

2.1 Uruchamianie programu

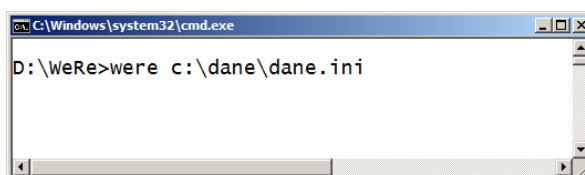
Program uruchamia się z parametrem, który jest nazwą (i ścieżką do) pliku zawierającego dane wejściowe. Można to wykonać w systemie Windows na dwa sposoby.

2.1.1 Sposób podstawowy

Należy uruchomić okno poleceń terminala (np. wcisnąć **Win+R**, w okienku uruchamiania wpisać `cmd` i potwierdzić ENTEREM).

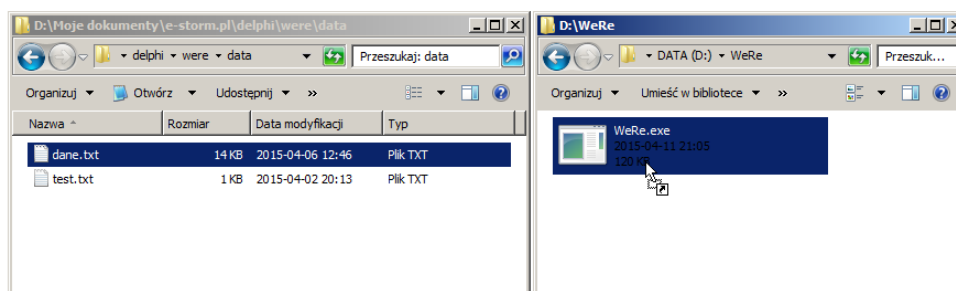


Z poziomu terminala przejść do katalogu zawierającego program WeRe. Wpisać w terminalu nazwę programu: `WeRe` oraz podać parametr zawierający pełną ścieżkę do pliku z danymi wsadowymi.



2.1.2 Sposób prosty

Należy na program WeRe przeciągnąć plik z danymi wsadowymi.



2.2 Format pliku wejściowego

Nazwa pliku wejściowego jest dowolna. W celu ułatwienia edycji zaleca się stosowanie rozszerzenia *txt* lub *ini*.

Format pliku wejściowego bazuje na formacie plików *ini*, które używane były do przechowywania ustawień programów jeszcze w czasach systemu Windows 3.11. Pliki *ini* używane są do tej pory, choć częściowo zostały wyparte przez rejestr systemu.

2.2.1 Format pliku INI

Plik *ini* jest plikiem tekstowym, można go tworzyć i redagować w dowolnym edytorze tekstu, np. w notatniku. Plik składa się z części zwanych *sekcjami*. Każda sekcja zaczyna się od nazwy sekcji umieszczonej w nawiasie kwadratowym.

Oprócz nazw sekcji, w pliku występują parametry w postaci: *nazwa parametru = wartość parametru*. Przykładowy plik *ini* może wyglądać następująco:

```
[connection]
host=localhost
base=AkorderP
user=akorderp

[Main]
LastLogin=admin
```

W plikach *ini* mogą również występować komentarze. Komentarze rozpoczynają się od znaku średnika na początku linii. Komentarze są pomijane podczas interpretacji danych pliku.

2.2.2 Dane w pliku ini dla programu WeRe

Każda sekcja programu WeRe definiuje oddzielny przewód. Nazwa sekcji jest dowolna, może być np. zbieżna z oznaczeniami przewodów na schemacie układu wentylacyjno-rekuperacyjnego.

Separatorem dziesiętnym w pliku jest kropka niezależnie od ustawień lokalnych w systemie. Jeśli dany parametr zawiera więcej niż jedną daną, informacje rozdzielone są przecinkami.

Pod nazwą sekcji dla każdego przewodu definiowane są następujące parametry:

nazwa	o *	opis / przykład	wartości dopusz- czalne / domyślna	jednost- ka do- myślna
opis	n	opis przewodu przewód sekcji 1 poziom maszyny	-	-
data	n	data wykonania pomiaru 2015-03-27	-	-
godzina	n	godzina wykonania pomiaru 15:30	-	-

przekroj	t	geometria przekroju badanego przewodu p	p, o -	
wymiary	t	wymiary przewodu, dla przewodu okrągłego jest to średnica, dla prostokątnego: szerokość (wzdłuż której wiercone są otwory) oraz wysokość (wzdłuż której wykonywane są kolejne pomiary w danym otworze) 120, 80	-	cm
odleglo- sci	n	odległości od lewego boku szerokości przewodu prostokątnego, w których wiercono otwory do pomiarów; nie używane dla przewodów okrągłych 10, 40, 80, 110, 130		cm
metoda	t	rodzaj mierzonego w otworach parametru: p – dla ciśnienia, v – dla prędkości p	p, v p	-
srednia	n	sposób obliczania średniej: w – ważona (wagami są pola), a – arytmetyczna (każdy odczyt jest równoważny) w	w, a w	-
pole	n	występuje jedynie gdy srednia=a, wtedy zwykle nie podaje się parametrów wymiary oraz odległości 9000	-	cm ²
otworX	t	kolejne odczyty z danego otworu o numerze X (gdzie X = 1.. n) jednostka zależy od określonej metody 25, 35, 44, 52, 42, 45, 54, 60, 48, 49, 48	-	Pa lub m/s
mnoznik	n	jeśli wartości odczytów podano w innej jednostce niż domyślna dla danej metody, to mnożnik zawiera liczbę, przez którą trzeba pomnożyć każdy odczyt. 0.1	-	-
tstm	n	dwie wartości temperatur termometru suchego i wilgotnego, jeśli nie podano – wykonana zostanie tylko część obliczeń 55.1, 53.2	-	°C

*o – pole obowiązkowe (t/n)

Poniżej przedstawiono przykładowy plik z danymi wsadowymi zawierający informacje o czterech kanałach. Każdy z przewodów jest wpisany w inny sposób.

[2.3.2]

```
opis=przewód na odbiorze
data=2015-03-27
godzina=13:30
przekroj=prostokąt
wymiary=197,67
odleglosci=8,70,120,167
otwor1= 10, 2, 2, 2, 1, 2, 0, 0, 0, 1, 4, 12, 20, 15
otwor2=100,110,130,135,130,125,125,120,115,110,112,100,100, 99, 75
otwor3=120,122,124,125,118,130,115,115,100,110,105,100, 75, 60
otwor4= 58, 99,105,110,122,105,110, 98, 88, 68, 66, 60, 46, 41
tstm=82.9,57.5
```

;

[4.2.1]

```
opis=w4.1
data=2015-03-26
godzina=14:45
przekroj=o
wymiary=37
otwor1=480,412,357,352,372,408,485, 50
otwor2=600,570,475,420,375,375,400,445
tstm=93.4,41.2
```

;

[4.4.2]

```
opis=k4
data=2015-03-27
godzina=12:00
przekroj=p
wymiary=140,100
odleglosci=10,40,80,110,130
metoda=v
otwor1=25,35,44,52,42,45,54,60,48,49,48
otwor2=10,70,81,62,54,34,20,07,40,64,72
otwor3=16,79,54,16,06,12,08,22,47,48,49
otwor4=60,58,35,52,42,42,51,62,66,69,52
otwor5=38,38,56,68,68,78,60,56,38,42,48
mnoznik=0.1
tstm=55.1,53.2
```

;

[3.4.2]

```
opis=k3
data=2015-03-27
przekroj=p
; szerokość szczelin 10 cm, 6 szczelin dł 150
pole=9000
metoda=v
srednia=a
otwor1= 11,120,115,110,100,100,100, 96, 94, 92, 86, 76, 82, 80, 78, 90
otwor2=100, 88,102,110,102, 82, 88, 90, 76, 76, 72, 70, 44, 52, 78, 60
otwor3= 58, 84, 92, 88, 90, 90, 76, 78, 76, 70, 84, 90, 36, 34, 46, 50
otwor4= 74, 62, 72, 72, 70, 80, 72, 76, 90, 82, 60, 88, 48, 20, 48, 66
otwor5= 72, 64, 60, 50, 29, 70, 86, 78, 74, 78, 80,102, 88,102, 99, 54
otwor6= 82, 88, 87, 90, 84, 84, 84, 82, 84, 86, 98,110,110,112,136,102
mnoznik=0.1
tstm=53.0,49.1
```

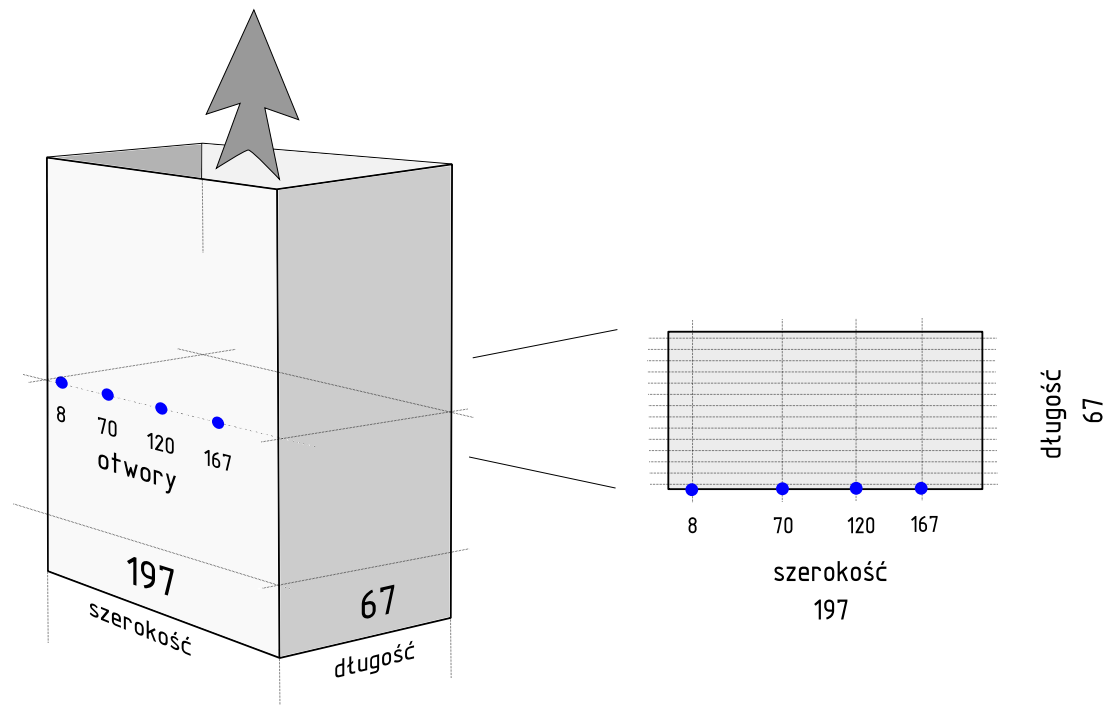
2.2.3 Pierwszy przewód

```
[2.3.2]
opis=przewód na odbiorze
data=2015-03-27
godzina=13:30
przekroj=prostokąt
wymiary=197,67
odleglosci=8,70,120,167
otwor1= 10, 2, 2, 2, 1, 2, 0, 0, 0, 1, 4, 12, 20, 15
otwor2=100,110,130,135,130,125,125,120,115,110,112,100,100, 99, 75
otwor3=120,122,124,125,118,130,115,115,100,110,105,100, 75, 60
otwor4= 58, 99,105,110,122,105,110, 98, 88, 68, 66, 60, 46, 41
tstm=82.9,57.5
```

Parametr **przekroj** przyjmuje wartości **p** lub **o**, program odczytuje tylko pierwszą literę wartości parametru, zatem można napisać cały wyraz: **prostokąt** lub **okrąg**.

Ponieważ przekrój jest prostokątny, to parametr **wymiary** zawiera dwie wartości rozdzielone przecinkiem. Wartości domyślnie podano w centymetrach. Kolejność wartości jest istotna, pierwsza wartość określa bok, na którym wiercono otwory dla sond pomiarowych, lub inaczej bok, po którego stronie wkładano sondy (np. na wylocie z kanału).

Parametr **odleglosci** określa położenie kolejnych miejsc pomiaru wzdłuż wymiaru szerokości kanału. Jeśli do wykonania pomiarów wiercono otwory w przewodzie, to są to odległości tych otworów od lewego boku przewodu. Kolejne odległości rozdzielone są przecinkami. Kolejność wartości odległości nie ma znaczenia, jednak wygodnie jest podawać je od najmniejszej do największej.



Rysunek 1. Sposób interpretacji parametrów geometrycznych.

Powyższy rysunek odpowiada następującej definicji parametrów w pliku wsadowym:

```
przekroj=prostokąt
```

wymiary=197,67
odleglosci=8,70,120,167

Parametry **otwor1...otwor4** zawierają kolejne odczyty z kolejnych otworów pomiarowych. Zakłada się, że odczyty wykonywane są w tych samych odległościach od siebie, a pierwszy wykonywany jest przy ścianie kanału. Na podstawie liczby pomiarów wykonanych w otworze oraz długości otworu obliczana jest odległość między kolejnymi odczytami. Obliczona tak odległość jest zaokrąglana w dół do wartości całkowitej. Przykład:

Dla długości przewodu $D = 67$ cm oraz liczby pomiarów $n = 14$ obliczenie jest następujące:

$$\text{Odległość} = \text{zaokrągl.w.dół}(D / (n - 1)) = \text{zaokrągl.w.dół}(67 / (14 - 1)) = 5$$

Wynik oznacza, że pomiary wykonywano w odległościach co 5 cm.

Jeśli zdefiniowano parametr **mnożnik**, to każdy z wyników pomiarów mnożony jest przez ten parametr. Można w ten sposób ułatwić sobie wpisywanie wyników, np. wpisując je 10 razy większe niż odczyty a na końcu ustawić mnożnik 0.1. Pozwala to np. na wpisywanie wartości bez ułamków.

Parametr **tstm** przechowuje dwie wartości: termometru suchego i termometru wilgotnego po przecinkach. Jego brak nie spowoduje zatrzymania programu, ale uniemożliwi dalsze obliczenia wymagające tych temperatur.

2.3 Obliczenia w programie

Na podstawie wartości odczytów (z otworów) w programie dokonywane są obliczenia średnich wartości. Jeśli parametr **średnia** został zdefiniowany jako α , to liczona jest średnia arytmetyczna wszystkich odczytów z pominięciem informacji o wagach. W takim wypadku należy podać parametr pole określający pole powierzchni kanału.

Jeśli parametr **średnia** nie został w ogóle podany, lub jego wartość jest w (średnia ważona), to obliczanie średniej jest bardziej złożone i zależne od geometrii przekroju (okrąg lub prostokąt).

2.3.1 Obliczanie średniej dla przekroju prostokątnego

Obliczanie średniej dla przekroju prostokątnego odbywa się z uwzględnieniem, jakiej części całkowitego pola przewodu dotyczy dany odczyt. Każdy odczyt dotyczy pewnego prostokąta wokół niego, który ustala się na podstawie następującej reguły: pole prostokąta wokół odczytu dzieli na pół odległości między kolejnymi odczytami. Rysunek 2 przedstawia sposób podziału przewodu prostokątnego na mniejsze prostokąty wokół odczytów.

Wartość średnia odczytów liczona jest z wzoru:

$$\text{średnia} = \frac{1}{P_c} \sum_{i,j}^{m,n} o_{i,j} p_{i,j}$$

gdzie:

- P_c – pole powierzchni całkowitej przewodu, m^2
- i – numer otworu, -
- j – numer odczytu w otworze i , -
- m – liczba otworów, -

Jeśli liczba odczytów dla danego otworu jest parzysta (przypadek a na rysunku powyżej), środkowe koło dotyczy jednego z czterech odczytów (dla dwóch otworów). Jeśli liczba odczytów jest nieparzysta (przypadek b), środkowe koło dotyczy jednego odczytu.

Sposób liczenia średniej wartości opisany jest podobnym wzorem jak dla geometrii prostokątnej (2.3.1). Różnica polega na łączeniu ze sobą po kolei wartości odczytów początkowych i końcowych.

2.3.3 Uśrednianie liczby odczytów

Program zakłada w celu uproszczenia i standaryzacji obliczeń, że dla każdego otworu wykonano tyle samo pomiarów.

Jeśli zdarzy się sytuacja, że liczba odczytów jest różna dla różnych otworów (zwykle różni się maksymalnie o 1), program uśrednia liczbę odczytów aby odpowiadała najczęściej występującej. Jeśli np. dokonano pomiarów w czterech otworach i w jednym z nich wykonano jeden pomiar więcej, to ostatni pomiar z tego otworu zostanie pominięty. Jeśli natomiast w jednym z otworów brakuje jednego pomiaru, to dodaje się go ustalając jego wartość na taką samą jak dla poprzedniego otworu. Metodami matematycznymi można ustalić błąd jaki powstaje podczas tego typu uproszczeń.

2.4 Obliczenia parametrów wyjściowych

Na podstawie podanych wartości temperatur termometru suchego i mokrego program wylicza następujące parametry powietrza wilgotnego (szczegóły 2.5):

Symbol	Nazwa	Jednostka
rh	wilgotność względna	%
Y	wilgotność bezwzględna	kg/kg
i	entalpia	kJ/kg
ro	gęstość	kg/m ³
dp	temperatura punktu rosy	°C

2.4.1 Obliczanie prędkości powietrza

Jeśli podczas pomiarów odczytywana była prędkość powietrza (za pomocą sondy zaopatrzonej w wiatrak), to nie trzeba jej już liczyć. Jeżeli odczyty dotyczą ciśnienia dynamicznego (rurka Prandtla) to prędkość jest liczona wg wzoru uzyskanego z równania Bernoulliego.

$$u = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

gdzie:

Δp – odczytane ciśnienie dynamiczne, Pa

ρ – gęstość powietrza wilgotnego, kg/m³

Innym sposobem jest zastosowanie wzoru Saint Venanta-Wantzela, którego nie użyto.

2.4.2 Obliczanie natężenia przepływu

Znając średnią prędkość przepływu powietrza wilgotnego w kanale u oraz pole przekroju kanału A można policzyć natężenie masowe i objętościowe. Natężenie objętościowe przepływu:

$$Q_A = u \cdot A$$

Znając natężenie objętościowe, natężenie masowe przepływu można policzyć ze wzoru:

$$Q_m = Q_A \cdot \rho$$

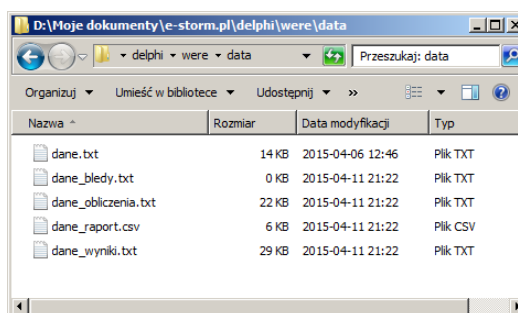
2.5 Obliczenia parametrów powietrza wilgotnego

Obliczenia parametrów powietrza wilgotnego odbywają się z zastosowaniem wzorów empirycznych zaczerpniętych z literatury.

Dokładne wyrażenia można znaleźć w [Vai2013], [IAPWS1995].

2.6 Formaty plików wyjściowych

Po uruchomieniu programu z parametrem, jeżeli dane w pliku z danymi wsadowymi zostały wpisane poprawnie, to w tym samym katalogu, co plik z danymi wsadowymi pojawią się pliki z wynikami. Będą to zazwyczaj 3 lub 4 pliki.



Pliki będą miały nazwę jak plik z danymi wsadowymi przedłużoną o jeden wyraz z objaśnieniem treści w pliku. Np. jeśli plik z danymi nazywał się *dane.txt*, to po uruchomieniu programu wynikiem będą 4 pliki o nazwach (rozszerzenie nie jest kopiowane z pliku z danymi wsadowymi):

- dane_bledy.txt
- dane_obliczenia.txt
- dane_raport.csv
- dane_wyniki.txt

Format i nazwy plików opisanych poniżej dotyczą aktualnej wersji programu i mogą ulec zmianie w przyszłości.

Jeżeli w danych wejściowych (w pliku wsadowym) pojawił się błąd uniemożliwiający obliczenia, to informacje o błędzie znajdują się w pliku *xxxx_bledy.txt*. Jeżeli żaden błąd nie wystąpił, to plik będzie pusty. Pojawienie się błędu spowoduje zatrzymanie programu i kolejne pliki wyjściowe nie będą utworzone. Przykładowe błędy podano poniżej.

- Brak definicji przekroju kanału
- Brak definicji wymiarów kanału (jeśli ustawiono średnią jako ważoną)
- Błędny odczyt wymiaru
- Brak definicji odległości otworów pomiarowych
- Nie podano wartości pola w przypadku średniej arytmetycznej
- Nie podano temperatur
- Brak wyników pomiarów

Najważniejszy z plików to plik: *xxxx_wyniki.txt* zawierający wyniki wraz z powtórzeniem danych wejściowych. Poniżej pokazano wyniki dla jednego z przewodów. Jeśli obliczono większą liczbę przewodów, to wyniki kolejnych będą się znajdowały jeden pod drugim.

Dane	:
nazwa	: 2.3.1
opis	: o2
data	: 2015-03-26
godzina	: 17:07:00
przekrój	: prostokąt
wymiary	: 1.97, 0.67 [m]
odległości	: 0.08, 0.7, 1.2, 1.67 [m]
metoda	: ciśnienie
średnia	: ważona
l.otworów	: 4
l.pomiarów	: 14
Ts	: 80.2°C
Tm	: 56.5°C
Obliczenia	:
średnia	: 103.08 Pa
rh	: 32.09 %
Y	: 111.01 kg/kg
i	: 375.36 kJ/kg
ro	: 0.942 kg/m ³
u	: 14.79 m/s
A	: 1.32 m ²
Qa	: 19.53 m ³ /s
Qm	: 18.39 kg/s
otwor1	= 9, 0, 2, 2, 2,1.5,1.5,1.5, 1, 2, 10, 15, 20, 20 [Pa]
otwor2	= 65,155,168,170,160,150,155,155,132,135,122,124,120,112 [Pa]
otwor3	= 140,142,150,148,155,150,145,138,138,130,130,120,120, 90 [Pa]
otwor4	= 40,130,120,122,120,135,123,120,112,110,100, 85, 80, 40 [Pa]

Kolejny plik to *xxxx_obliczenia.txt*, w którym znajdują się dane pośrednie obliczane podczas liczenia średnich wartości na podstawie odczytów. Plik ten może ułatwić poszukiwanie błędów, jeśli wystąpią niezgodności w wynikach końcowych. Podczas normalnej pracy nie jest istotny.

Ostatnim plikiem jest *xxxx_raport.csv*, który zawiera dokładnie te same informacje, co w pliku *xxxx_wyniki.txt*, podane w formie tabelarycznej (Rysunek 4). Format CSV umożliwia import tych danych do dowolnego arkusza kalkulacyjnego. Kolejne kolumny rozdzielone są średnikami.

	A	B	C	D	E	F
1	nazwa	2.3.1	2.3.2	2.2.1	2.2.2	4.3.1
2	opis	o2	o2	w2.1 za wentylatorem	w2.1 za wentylatorem	o4.1
3	data	2015-03-26	2015-03-27	2015-03-26	2015-03-27	2015-03-27
4	godzina	17:07:00	13:30:00	16:35:00	00:00:00	15:00:00
5	przekrój	prostokąt	prostokąt	prostokąt	prostokąt	prostokąt
6	wymiar(y), m	1,97 x 0,67	1,97 x 0,67	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	1,00 x 0,7
7	odległości, m	0.08, 0.7, 1.2, 1.67	0.08, 0.7, 1.2, 1.67	0.28, 0.7	0.28, 0.7	0.15, 0.5
8	metoda	ciśnienie	ciśnienie	ciśnienie	ciśnienie	ciśnienie
9	średnia	ważona	ważona	ważona	ważona	ważona
10	lotworów	4	4	2		2
11	l.pomiarów	14	14	21		21
12	Ts, °C	80,2	82,9	96,8		99,1
13	Tm, °C	56,5	57,5	41,5		39,7
14	średnia, Pa lub m/s	103,08	83,72	83,2		42,83
15	wilg. wzgl ro, %	32,09	30,13	4,74		3,34
16	wilg. bezwzgl. Y, kg/kg	111,01	117,07	27,49		20,84
17	entalpia i, kJ/kg	375,36	394,76	171,53		156,1
18	gęstość ro, kg/m3	0,94	0,93	0,94		0,94
19	prędkość u, m/s	14,79	13,4	13,31		9,56
20	pole pow. A, m2	1,32	1,32	1		1
21	natężenie obj. Qa, m3/s	19,53	17,69	13,31		9,56
22	natężenie masowe Qm, kg/s	18,39	16,49	12,5		8,96
23						
24						

Rysunek 4. Dane w formacie CSV zaimportowane do arkusza kalkulacyjnego.

3

Literatura

[Vai2013] – HUMIDITY CONVERSION FORMULAS -

http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Application%20notes/Humidity_Conversion_Formulas_B210973EN-F.pdf

[IAPWS1995] – The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use, <http://www.nist.gov/data/PDFfiles/jpcrd617.pdf>

[RHDP2005] The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air, A Simple Conversion and Applications - Mark G. Lawrence, The Bulletin of the American Meteorological Society's, 2005.02, <http://climate.envsci.rutgers.edu/pdf/LawrenceRHdewpointBAMS.pdf>