

ЕФЕКТИВНОСТ НА ВЕНТИЛАЦИОННИТЕ СХЕМИ С ВЕТРОВЕНТИЛАТОРИ

Елена Власева¹, Захари Динчев², Михаил Михайлов³

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

¹elena@mgu.bg, ²dincev@mgu.bg, ³mihailov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Проветряването с ветровентилятори на промишлени и обществени обекти може да се осъществява с индивидуални и хибридни вентилационни схеми и системи. Критерият за сравнение на схемите е тяхната ефективност: Вентилационна; Икономическа и Екологична. В статията е разгледано и анализирано влиянието на вътрешни и външни, метеорологични, конструктивни и микроклиматични фактори върху ефективността на работа на система за проветряване с ветровентилятор. Дадени са зависимости за оценка на влиянието на основните външни и вътрешни фактори върху ефективността на системата. На основата на собствени изследвания на моделна вентилационна система е даден пример за степента на влияние на управляемите и неуправляемите фактори върху вентилационната ефективност на системата.

WIND FANS' VENTILATION SCHEMES EFFICIENCY

Elena Vlasseva¹, Zahari Dinchev², Mihail Mihailov³

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

¹elena@mgu.bg, ²dincev@mgu.bg, ³mihailov@mgu.bg

ABSTRACT. Ventilation of industrial and public facilities with wind fans can be organized either with individual or with hybrid schemes and systems. Criterion for implementation and comparison is their ventilation, economic and ecological efficiency. Paper presents, discusses and analyzes influence between different factors: indoor and outdoor parameters; meteorological, constructive and microclimatic ones and their impact on the efficiency of a system with wind fan operation. Expressions to evaluate the influence of main factors are also presented. Based on authors' research, performed on laboratory model of ventilation system, equipped with weather station, an example has been developed to show how controllable and non-controllable factors can be maintain in order to regulate and evaluate ventilation system efficiency.

Исторически бележки

Вятърът като енергийно средство е с хилядолетна история. Първите доказателства датират от древен Египет и са от 5000 г. пр. н. ера и са свързани с използването на ветроходи за придвижване от бряг на бряг. Първите вятърни мелници - машина с перки, закачени на ос за създаване на въртливо движение се предполага, че са построени в древен Вавилон около 2000 пр. н.е. Вятърни мелници за мелене на зърно с височина над 10 м са открити в земите на днешен Афганистан. Западният свят открива доста по-късно ветровите двигатели - едва през 12 век сл. н.е. за мелене на зърно. Преди 2 века тези машини са използвани в Холандия за изпомпване на вода и за увеличаване на сушата на тази равнинна страна.

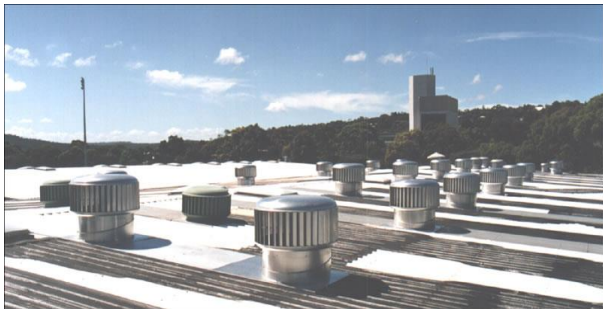
В края на 19 век САЩ започват производство на вятърни двигатели за осигуряване на вода за парните локомотиви. С въвеждането на двигателите с вътрешно горене употребата на вятъра като енергийно средство намалява, но не прекъсва, като се използва предимно за изпомпване на вода. Използването на вятъра за производство на електроенергия започва през 30 години на 20 век, като към края на века тази дейност се разраства към създаване на вятърни стопанства и в много страни заема съществен дял от произвежданата електроенергия. Прогнозите сочат, че

към 2020 г. чрез ветрогенератори ще се произвежда около 12% от електроенергията на планетата.

Едно малко разпространено приложение на вятърната енергия е използването на вятърни турбини (вентилятори, без двигатели [2]) за проветряване на жилищни и обществени сгради и индустриални предприятия. Пионери на тези приложения и водещи производители на ветровентилятори са Австралия, Нова Зеландия и САЩ. В тези страни действат поощряващи използването на възстановими източници на енергия наредби, свързани с ограничаване на вредните емисии.

Турбинни ветровентилятори

Турбинните ветровентилятори се използват като ефективно средство за изсмукване на въздуха от затворени пространства (помещения), които нямат производствени разходи за електроенергия и поддръжка поради факта, че се задвижват от вятъра. През последните години се наблюдава увеличаване на използването на тези типове вентилятори за проветряване на обществени и производствени помещения (фиг. 1).



Фиг. 1. Използване на турбинните ветровентилатори за проветряване на производствени помещения

Ветровите вентилатори (фиг. 2) са безмоторни съоръжения, които се задвижват от енергията на вятъра [2]. Действието на съоръжението е сигурно и просто. Даже и най-слаб вятър, достигнал до лопатките (научно разработени и изпитани), предизвиква задвижване на турбината. Центробежната сила, възникнала вследствие движението на турбината, създава частичен вакуум в нея, който предизвиква движение на въздушния поток от помещението към вентилатора и към външната атмосфера. Скоростта на въртене на турбината е пропорционална на скоростта на вятъра и не зависи от неговата посока.

Подробна информация за принципа на действие, конструкциите, изисквания за монтиране, експлоатационни характеристики са дадени в [3, 4 и 5].



Фиг. 2. Турбинни ветровентилатори

За съжаление теорията за създаването на подналягането и възникването на подемните сили, които се използват за засмукването на въздуха от турбинните ветровентилатори, все още не е дала категорични зависимости за връзката между типа, конструкцията и изпълнението на ветровентилатора с очакваната негова ефективност и производителност.

Настоящият доклад има за цел да изследва факторите, влияещи върху работата на вентилатора и да представи резултати от измервания, извършени на лабораторен стенд с ветровентилатор, изграден в катедра "Руднична вентилация и техническа безопасност" на МГУ-София. Подробно конструктивно и функционално представяне на стенда може да се види в [3].

Принципна схема за проветряване с ветровентилатори

Ветровентилаторите се монтират на покрива на сградата, която следва да се проветрява по начините представени на фиг. 3, а именно:

- ⇒ проветряване на цялото пространство (фиг. 3а) чрез един или серия от ветровентилатори;
- ⇒ насочено отвеждане на вредностите чрез изграждане на аспирационна система с тръбопровод от мястото на отделяне на вредности до устието на вентилатора (фиг. 3б).

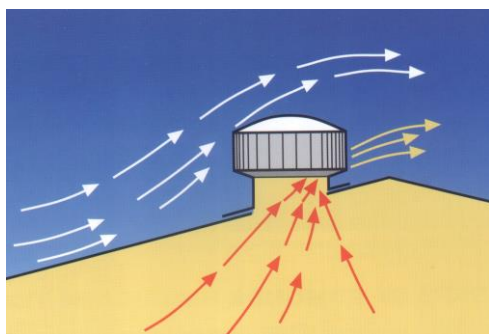
Критерии за ефективност на схемите с ветровентилатори

Избор на проветряване с ветровентилатори почива на три основни показателя, формулирани на основата на вентилационна, икономическа и екологична ефективност.

Тяхното съдържание е както следва:

✓ Вентилационна ефективност. Извежда се като условия, при които е неприемливо или нерентабилно от вентилационна гледна точка прилагане на конвенционални вентилационни подходи. Такива са случаите за проветряване на помещения при изискване за сигурност и херметичност; поддържане на вентилационен комфорт при прекъснат режим на работа; избягване на скъпи съоръжения във взривобезопасно изпълнение при изнасяне на вредности с риск от samozапалване или образуване на взривоопасна смес. Много подходящи за проветряване с ветровентилатори са следните обекти:

- Училища – много ученици седят продължително време в затворено помещение и при неадекватна вентилация се уморяват и не се концентрират достатъчно. Като правило училищата нямат много финансови средства и по този начин могат да пестят електроенергия;
- Складове за храни, химикали, и други материали – изискват адекватна вентилация 365 дни в годината и по правило са с голям обем;
- Складове за боеприпаси и взривни материали - от съображения за безопасност е по-добре вентилацията да не е с електрически съоръжения;
- Асансьорни шахти и стълбища във високи сгради;
- Зали, кина и други обществени сгради, където се събират много хора;



а) проветряване на цялото пространство



б) насочено отвеждане на вредностите (аспиратор, тръбопровод, вентилатор)

Фиг. 3. Начини за свързване на ветровентилатори

✓ **Икономическа ефективност.** В таблица 1 са дадени присъщите разходи, свързани с монтирането и използването на електрически и на ветровентилатори. Данните в таблицата показват, че при използване на ветровентилатори разходите се изчерпват с доставката и монтажа на съоръжението. Няма текущи разходи за електроенергия и поддържане на инсталация, което води до неутрализиране на направените разходи за период от 3-4 години, в зависимост от вида и изпълнението на ветровентилатора.

✓ **Екологична ефективност.** Базира се на спестени (не отделени) вредни емисии при икономия на конвенционална електроенергия. Всяка единица електричество, спестена при използване на енергията на вятъра, може да замени единица електричество, произведено от ТЕЦ с въглища или газ. Британското парламентарно бюро за наука и технологии [1] използва следните осреднени емисионни норми при ТЕЦ с въглища: EC = 860 g CO₂/ kWh
ES = 10 g SO₂/ kWh
EN = 3 g NO_x/ kWh

За българските условия тези стойности следва да се уточнят, тъй като състава на въглищата е различен и отделянето на серни оксиди е с по-високи стойности. Емисионните редукиции се изчисляват по следните зависимости:

Таблица 1.

Сравнение на разходите при използване на електрически и на ветровентилатори

ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕНТИЛАТОРИ		ВЕТРОВИ ВЕНТИЛАТОРИ	
Разход	%	Разход	%
Доставка	17	Доставка	40
Адаптиране към наклона на покрива	3	Адаптиране към наклона на покрива	0
Доставка на електрическо табло с бутонен пост	8	Няма пускова апаратура	0
Доставка на електрически кабели	2	Не са необходими ел. кабели	0
Изработване и монтаж на вентилационните канали и вентилатори	30	Монтаж на вентилаторите	32
Монтаж на електрическа инсталация и довършителни работи	29	Не е необходима ел. инсталация	0
Разход на ел. енергия за първата година	10	Няма разходи за ел. енергия	0
1-ва година поддръжка	1	Не изисква поддръжка	0
Всичко за 1-вата година	100	Всичко за 1-вата година	72
Разходи за 2 – 5 година 4 x 11 %	44	Разходи за 2 – 5 година	0
Разходи до 5-тата година	144	Разходи до 5-тата година	72
Откупуване на вентилаторите - не		Откупуване на вентилаторите – за 3 – 4 години	
Гаранция не повече от 1 година		Гаранция – до 5 години	
Шум - 83dBA		Шум – практически безшумен	
Тегло – до 80% по-голямо от това на еквивалентни ветровентилатори		Тегло – до 80% по-малко електрическите вентилатори	

$$m_{CO_2} = \frac{A \cdot n \cdot 8760 \cdot EC}{10^6}, t$$

$$m_{SO_2} = \frac{A \cdot n \cdot 8760 \cdot ES}{10^6}, t$$

$$m_{NO_x} = \frac{A \cdot n \cdot 8760 \cdot EN}{10^6}, t$$

където: A – мощност, необходима за проветряването на обекта с конвенционални средства и съответстваща на мощността на въздушния поток, преминаващ през ветровентилатора, kW;

8760 – часове в една година, h;

EC, ES, EN – емисии на CO₂ SO₂ NO_x при производството на 1 kW/h от конвенционална ТЕЦ, g/kWh

n е коефициент, отчитащ продължителността на проветряването с ветровентилатор $0 \leq n \leq 1$

Влияещи фактори върху работата на ветровентилаторите

Работата на ветровентилаторите зависи от климатичните условия на мястото, където е разположено проветряваното помещение, от начина на монтиране на съоръжението и не на последно място – от вредностите, които следва да се изнасят. Влияещите фактори могат да се разделят в две групи - външни и вътрешни (фиг.1).

Външни фактори. В тази група външни климатични и външни конструктивни фактори. Външните климатични фактори са неуправляеми и се отнасят до метеорологичните условия на мястото, където ще работи ветровентилатора:

- ⇒ скорост на вятъра (V_b , m/s);
- ⇒ температура ($t_{вн}$, °C); налягане ($P_{вн}$, Pa); плътност ($\rho_{вн}$, kg/m³) на въздушната среда около ветровентилатора.

Външните конструктивни фактори се отнасят до конструктивните особености на покрива и начина на монтиране на ветровентилатора към покрива:

- ⇒ височина на сградата, (h_c , m);
- ⇒ вид на покрива – наклон, смущаващи свободното течение на вятъра;
- ⇒ разположение на ветровентилатора на покрива;
- ⇒ височина на поставяне на ветровентилатора над покрива, (h_b , m).

Вътрешни фактори. Те се отнасят до условията в проветряваното помещение и до начина на улавяне и отвеждане на вредностите и се класифицират като микроклиматични и конструктивни.

Вътрешни микроклиматични фактори:

- ⇒ температура, относителна влажност, плътност и налягане на въздуха на различни места в проветряваното пространство;
- ⇒ вид, условия на отделяне и разпространение на вредностите.

Вътрешни конструктивни фактори:

- ⇒ тип и характеристики на въздуховода, по който се отвеждат вредностите (диаметър, съпротивление, пад на налягане, дебити);
- ⇒ вид и характеристики на смукателите;
- ⇒ наличие на регулиращи съоръжения в тръбопровода;
- ⇒ разстояние на смукателните отвори до покрива;
- ⇒ херметичност на помещението.

Така формулираните и категоризирани влияещи фактори се обвързват чрез следните зависимости:

Мощност на ветровия поток през вентилатора:

$$E_{\text{вятър}} = \frac{1}{2} m_{\text{вятър}} v^2 = \frac{1}{2} \rho_{e-x} A v v^2 = \frac{1}{2} \rho_{e-x} A v^3, W \quad (1)$$

където: A – обтекаема площ на ветровентилатора, m²;
 v – скорост на вятъра, m/s;
 ρ_{e-x} – плътност на външната среда, kg/m³

Мощност на потока през тръбопровода, свързващ ветровентилатора с помещението

$$E_{\text{отр. въздух}} = R Q^3 = \Delta P Q, W \quad (2)$$

където: R – аеродинамично съпротивление на тръбопровода (линейни и местни съпротивления), kg/m⁷;
 Q – обем дебит на отработения въздух, m³/s;
 ΔP – загуба на налягане на тръбопровода, Pa.

Обем дебит като резултат от топлинната тяга:

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2gh(T_i - T_o)}{T_i}} \text{ ако } T_i > T_o$$

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2gh(T_o - T_i)}{T_o}} \text{ ако } T_o > T_i \quad (3)$$

където: C_d е дебитен коефициент $\approx 0,65$

h – вертикално разстояние между входа и изхода, m;

T_o, T_i – външна / вътрешна температура, K;

Лабораторен стенд с ветровентилатор

Изпитване на работата на ветровентилатори беше извършено с лабораторен стенд (фиг. 4, 5 и 6), чрез който се изследва производителността на вентилатора в реални условия в зависимост от изменението на метеорологичните фактори. За направата на стенда и неговото пълноценно функциониране бяха изградени следните възли:

✓ вентилационна връзка между външната атмосфера на покрива на лабораторния блок при МГУ “Св. Иван Рилски” и лаборатория 631^a - ПВЦ тръбопровод ($\varnothing 160\text{mm}$) преминаващ през комин с обща дължина 6 метра и възможност за монтаж на ветровентилатори на покрива.

✓ мачта в близост до вентилационния изход на тръбопровода на покрива на сградата за монтирането на апаратурата за измерване на метеорологичните условия (скорост на вятъра, посока, температура и др.)



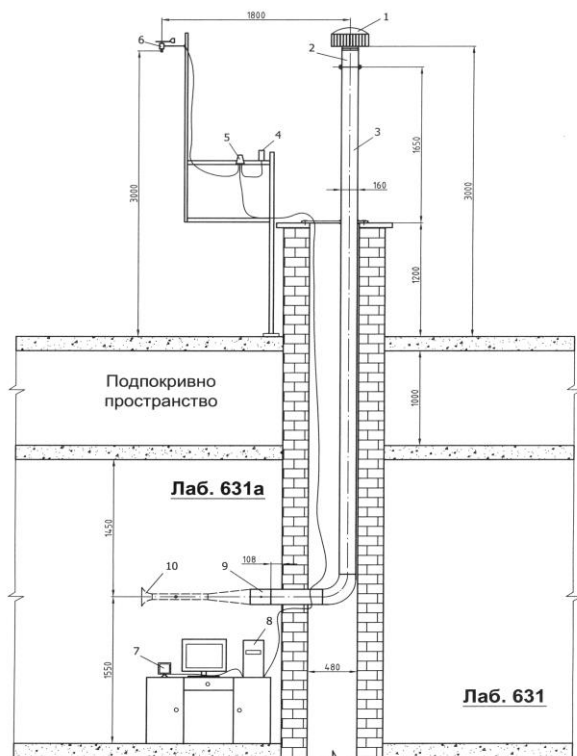
Фиг. 4. Външна част на стенда



Фиг. 5. Вътрешна част на стенда

✓ входящи устройства с възможност за монтиране на измервателна апаратура (анемометри, манометри и т.н.) разположени в помещението на лаборатория 631а и монтирани на вентилационната тръба за измерване на параметрите на работа на ветровентилаторите;

✓ монтирана на мачтата метеорологична станция за измерване на метеорологичните условия на покрива на сградата и микроклиматичните условия в помещението на лаборатория 631а.



Фиг. 6. Конструктивна схема на стенда

Метеорологичната станция [3] е модел WS2300 с възможност за пренос, съхранение и запис на данните на персонален компютър. Основната част от сензорите за мониторинг на външните параметри са монтирани на външната мачта на покрива на лабораторния блок.

- **базова станция** – служи за измерване и визуализация на вътрешните параметри на микроклимата, както и на данните от външните сензори. Комуникацията с външните сензори се осъществява чрез технологията (wireless) или чрез кабелна връзка.

- **външни сензори** - служат за измерване на външните параметри на микроклимата и трансфер на данните към базовата станция.

- Комбиниран външен температурен сензор, хигро сензор и предавател;
- Сензор за измерване на количеството на валежите;
- Сензор за отчитане на скорост и посока на вятъра

- **специализиран софтуер** – за визуализация, обработка и трансфер на данните от метеорологичната станция (*Heavy Weather, HeavyWeather Review u HeavyWeather Publisher*)

Параметрите които се измерват и записват от метеорологичната станция са съответно :

- ✓ P_{atm} – атмосферно налягане, hPa
- ✓ t_{in} – вътрешна температура (в помещението), °C
- ✓ t_{out} – външна температура, °C;
- ✓ ϕ_{in} – относителна влажност на въздуха - вътрешна (в помещението), %
- ✓ ϕ_{out} – относителна влажност на въздуха - външна (на покрива), %
- ✓ t_k – температура на кондензация на водните пари, °C
- ✓ t_u – температура на усеждане, °C
- ✓ V_w – скорост на вятъра, m/s
- ✓ D_g – посока на вятъра, deg,
- ✓ W_r – количество паднал валеж, mm
- ✓ t – час на измерването, чч:мм
- ✓ D – дата на измерването, дд.мм.гггг

От момента на монтирането и пускането в действие на метеорологичната станция са реализирани над 85000 записа за стойностите на измерваните параметри в продължение на 1 година, които са структурирани в отделни файлове във формат EXEL по месеци. Таблица 2 представя формата на представяне на данните.

Таблица 2.

Данни от метеорологичните измервания

P_{atm}	t_{in}	ϕ_{in}	t_{out}	ϕ_{out}	t_k	t_u	V_w	D_g	W_r	t	D
[hPa]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[°C]	[°C]	[m/s]	deg	[mm]		
952.6	25.7	35	33	19	6.3	33	1.4	E	6.2	15:44	18.7.2004
952.5	25.7	35	32.8	19	6.1	32.7	2.5	SSE	6.2	15:59	18.7.2004
952.5	25.7	35	32.5	19	5.9	32.4	2.4	ENE	6.2	16:14	18.7.2004
952.4	25.8	35	33.8	19	7	33.8	2.9	ESE	6.2	16:29	18.7.2004
952.5	25.8	35	33.7	19	6.9	33.7	1.5	WSW	6.2	16:44	18.7.2004
952.4	25.8	35	31.1	19	4.7	31.1	1.4	E	6.2	16:59	18.7.2004
952.4	25.8	35	29.7	19	3.6	29.7	0	S	6.2	17:14	18.7.2004
952.3	25.8	35	29.4	19	3.4	29.4	0.6	E	6.2	17:29	18.7.2004
952.3	25.8	35	28.8	22	5	28.4	2.3	ESE	6.2	17:44	18.7.2004
952.1	25.8	35	31.4	19	5	31.4	0	ENE	6.2	17:59	18.7.2004
952.3	25.8	35	32.3	19	5.7	32.3	1.2	S	6.2	18:14	18.7.2004
952.2	25.8	35	32.3	19	5.7	32.3	1.8	SSE	6.2	18:29	18.7.2004
952.2	25.8	35	32.2	19	5.6	32.2	0.6	WSW	6.2	18:44	18.7.2004

Тези данни са достатъчни за извършване на емпирични и прогнозни изчисления по изрази (1-3), както и да се извършва статистическа обработка за извеждане на корелационни зависимости за взаимодействието между скоростта на вятъра, производителност на вентилатора, конструктивни особености на тръбопровода и вентилаторната установка.

Резултати от измерванията

На фиг. 7 – 10 са представени следните измервания, извършени с лабораторния стенд:

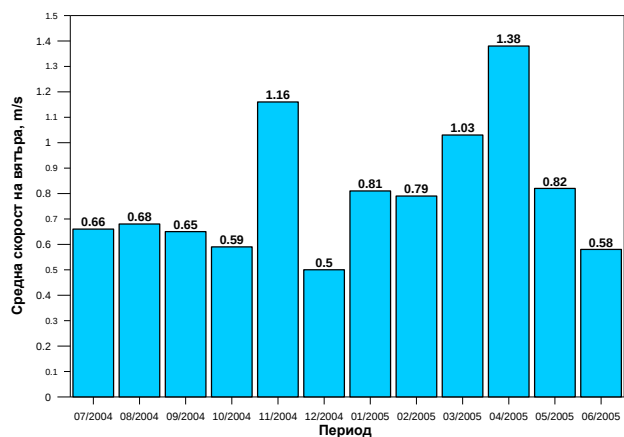
- Фиг. 7 – средна скорост на вятъра за едногодишен период. Те варират в диапазона 0,5 – 1,38 m/s. Тези стойности в сравнение с данните за България са ниски,

което означава, че ветровентилатори могат да работят ефективно в по-голяма част от страната;

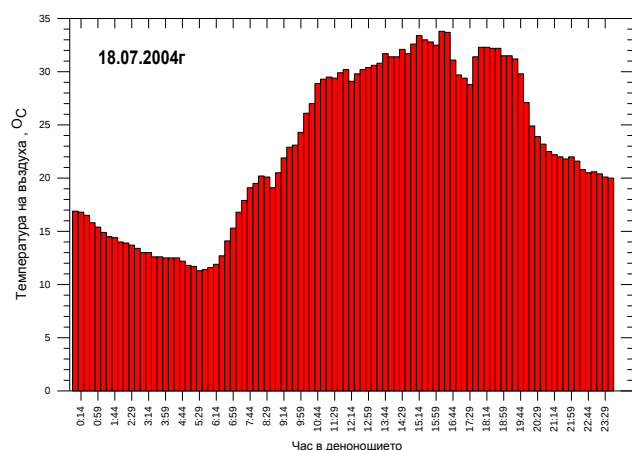
- Фиг. 8 и 9 представят изменение на външната денонощна температура за студен и топъл период от годината. След анализ на изчисления по емпирични и моделни зависимости могат да се направят препоръки за ефективно приложение на ветровентилатори през различни сезони и части от денонощието, включващи и прилагането на хибридни схеми на вентилация.

- Фиг. 10 и 11 представят измервания за денонощно изменение на скоростта на вятъра и също могат да се използват за уточняване на схемите и периодичността на вентилация за различни случаи;

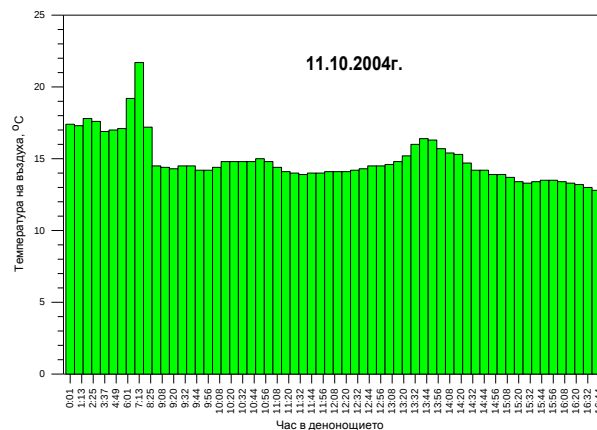
- Фиг. 11 представя измерените с лабораторния стенд обемни дебити при различни скорости на вятъра. Тези дебити включват и естествената тяга, която следва да се отчита отделно, особено по отношение на положително или отрицателно влияние върху работата на ветровентилатора.



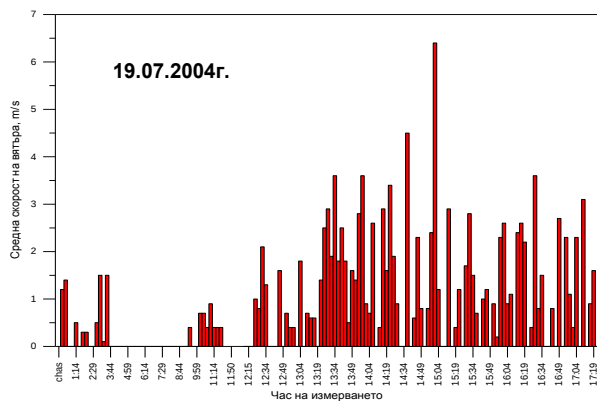
Фиг. 7. Средна скорост на вятъра по месеци за едногодишен период



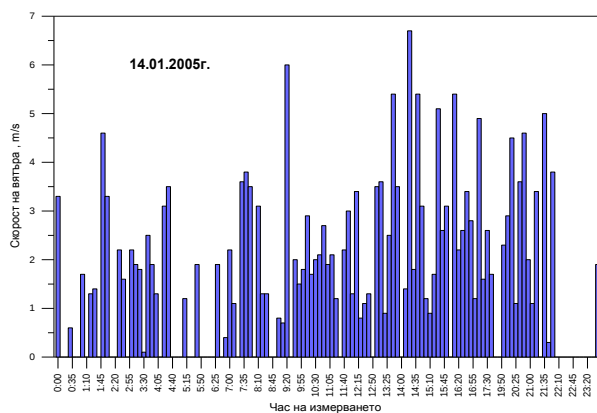
Фиг. 8. Денонощна външна температура - топъл период от годината



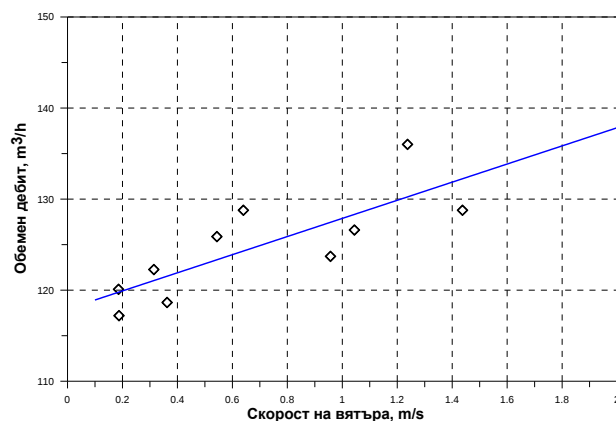
Фиг. 9. Денонощно външна температура - средно топъл период



Фиг. 10. Изменение на средната скорост на вятъра в рамките на денонощие за топъл период от годината



Фиг. 11. Изменение на средната скорост на вятъра в рамките на денонощие за студен период от годината



Фиг. 12. Обемни дебити на ветровентилатор в зависимост от скоростта на вятъра

Заклучение

Представените идеи за прилагане на възстановими източници на енергия, каквито са турбинните вентилатори, за проветряване на промишлени и граждански обекти са основа за въвеждане в нашата страна на тези нови съоръжения. Данните от вентилационните измервания на стенда за работата на турбинните ветровентилатори заедно с метеорологичните данни се използват за определяне на параметрите на работа на тези вентилатори и областта на тяхното ефективно приложение при използването им за проветряване на различни обекти.

Литература

1. UK Parliamentary office of science and technology, 1994, *Select committee briefing: Environmental aspects of wind generation* (<http://www.auswea.com.au>).

2. М.Михайлов, З.Динчев, Е.Власева, Т.Петров, И. Тенев. Форсиране на естественото проветряване на електролитни цехове. Юбилейна международна научна сесия 50 години МГУ"Св.Иван Рилски", София 14-16 май 2003. Св. "Добив и преработка на минерални суровини", стр.159-164.
3. Отчет на дог. МТФ 28/2004 Лабораторни изследвания на влиянието на метеорологичните фактори върху рационалната област на приложение на ветрови и обемни вентилатори в промишлената вентилация, архив НИС на МГУ.
4. Australian patent – EDMONDS PRODUCYS Pty Limited "Wind Driven Turbine Ventilator", Document No – AU-B-81755/91.
5. www.edmonds.com; www.mpvent.com; www.chinfor.com; www.mcmaster.com; www.apmelite.com.au.
6. Договор 1777 (2002), Подобряване на естествената вентилация в цех електролитен на Юмикор мед АД, архив на НИС.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Руднична вентилация и техническа безопасност", МТФ