

Анализ на скоростта на вятъра, определена чрез измерване и моделиране

Илия Илиев, Веселка Камбурова, Ангел Терзиев, Пламен Граматиков

Analysis of wind speed determinate by measurement and modeling The paper presents an investigation of the influence of various parameters on the distribution of the wind speed field in the height. The main purpose is to compare results from different models used in calculating of the speed profile in height and actual measurement results. Data for wind speed measurement at three different heights during one year are presented. The measured speed at 60 meters is compared with values calculated using two different models and 3D modeling. The obtained values are very close. The error is approximately 2 – 3 %. The results of the paper can be used to reduce the costs of measuring and installation of masts during study of speed profiles.

Key words: Anemometer, Measurement, Model, Speed, Wind.

ВЪВЕДЕНИЕ

Прецизното определяне на енергопроизводството от дадена площадка чрез използване на силата на вятъра зависи предимно от разпределението на скоростното поле над изследваната площадка. Поради тази причина от изключителна важност е както провеждането на прецизни натурни (в близост до мястото на изследваната площадка) измервания, така и коректната екстраполация на резултатите по височина.

В настоящата работа е направено изследване на влиянието на отделните параметри върху разпределението на скоростното поле по височина и на възможността за използване на съответни апроксимационни зависимости при екстраполация на данните от точката на измерване по височина. Основната цел е да бъдат сравнени резултатите от различни използвани подходи при пресмятането на скоростния профил по височина и реални резултати от измерванията.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЕТО НА ФАКТОРИТЕ ВЪРХУ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА СКОРОСТНИЯ ПРОФИЛ ПО ВИСОЧИНА

Прогнозирането на вероятното производство на електрическа енергия посредством ветрогенератори, използващи силата на вятъра, е важно поради следните две причини: 1) предоставя предварителна информация за генерирана енергия по локации, което е предпоставка за по-доброто ѝ интегриране в електропреносната мрежа и последващо балансиране; 2) улеснява инвеститорите при разработването на такъв тип проекти, като дава предварителна финансова оценка за неговата квалифицируемост.

В настоящата работа основният акцент пада върху първата причина. Правилното определяне на профила по височина е необходимо условие не само за да се определи енергопроизводството, но и да се предскажат евентуалните вредни въздействия върху турбината в процеса на експлоатация.

Много са факторите, които оказват влияние върху определянето на скоростния профил по височина. Като основен може да бъде посочен факторът „клас на грапавост на релефа“. Той е една комплексна величина и зависи предимно от типа и класа на релефа около площадката. Изследванията сочат, че при изследването на поведението на ветровия поток е необходимо познаване на релефа около площадката на разстояние поне 10 км във всички посоки [1]. При много комплексен (пресечена местност) терен е необходимо тази област да бъде увеличена.

Обобщените класове на грапавост съгласно [2] са представени в табл. 1.

Таблица 1. Класове на грапавост като функция на релефа

Клас на грапавост RC	Дебелина на граничния слой Z0, [m]	Характеристика на терена
0	0.0002	водна повърхност
0.5	0.0024	равнинен терен с гладка повърхност
1	0.03	слабохълмист терен /липса на ветрови пояси/
1.5	0.055	обработваема земя с растителност и сгради до 8 м височина и разстояние помежду им от около 1250 м
2	0.1	обработваема земя с растителност и сгради до 8 м височина и разстояние помежду им от около 500 м
2.5	0.2	обработваема земя с наличие на доста сгради, храсти и дървета до 8 м височина на разстояние помежду им от около 250 м
3	0.4	малки градчета, села, обработваема земя с високи ветрови пояси, гори и много нееднороден терен
3.5	0.8	големи градове с високи сгради
4	1.6	много големи градове с доста високи сгради и небостъргачи

Факторната грапавост приема определени стойности в зависимост от вида на релефа. Ниската факторна грапавост е показател за „отворени“ терени, т.е. липса на каквито и да е препятствия по пътя на ветровия поток. При висока факторна грапавост на релефа в резултат на различни прегради по пътя на ветровия поток се формира граничен слой, който е предпоставка за изместването на скоростния профил по височина. Благодарение на факторната грапавост и информация за скоростта в определена точка, чрез използването на емпирични зависимости, може да бъде получена с определена точност информация за скоростта на вятъра по височина (скоростен профил).

АНАЛИЗ НА ДАННИ ОТ НАТУРНИ ИЗМЕРВАНИЯ

Определянето на скоростта на вятъра се осъществява посредством специализирано оборудване (анемометри, ветропоказатели, термометри, барометри и др.), което се монтира върху високи метеорологични мачти. Така наречените натурни измервания най-често се провеждат в близост до мястото на инсталиране на ветрогенераторите. Благодарение на тях се получава информация за скоростта на вятъра в различни точки по височина, които чрез последващата екстраполация служат за определянето на скоростта на вятъра до хъба на вятърната турбина, т.е. точката, за която в последствие ще бъде определяно енергопроизводството.

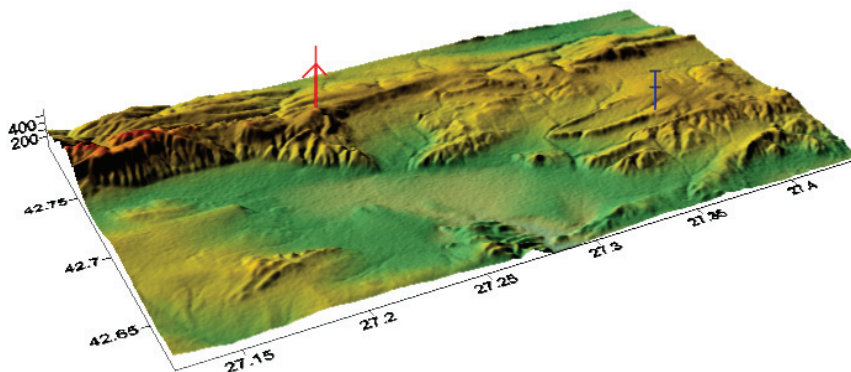
За целта ще бъде разгледана площадката, за която има проведени натурни измервания. Локацията на площадката е на около 30 км в северозападна посока от гр. Бургас, общ. Айтос (фиг. 1).

Релефът около площадката е представен от горска растителност и неголеми селища. На около 500 м от площадката в югозападна посока се намира възвишение с височина 450 м. Предварителните резултати от измерванията в метеорологичната мачта сочат преобладаваща посока на вятъра от „север“ и „югоизток“, поради което представеното по-горе възвишение ще повлияе незначително върху скоростния профил по височина. Средната надморска височина на изследваната площадката е 405 м.



Фиг. 1. Местоположение на площадката

Чрез използването на топографски карти е съставен 3D модел на терена с местоположение на метеорологичната мачта (фиг. 2).



Фиг. 2. 3D релеф на терена с местоположение на метеорологичната мачта

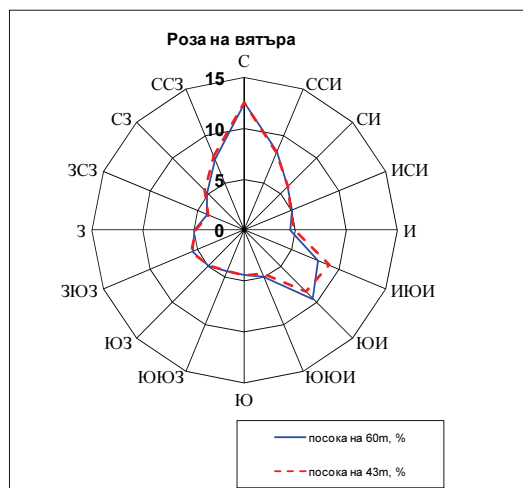
Измерванията на параметрите на вятъра са на три височини – 22, 43 и 60 м. Измерванията са провеждани в продължение на една година с помощта на мачта и анемометри тип NRG #40. Диапазонът на измерване на анемометрите е от 1 до 96 м/с. Точността на измерване за диапазона от 5 до 25 м/с е ± 0.1 м/с. Измерваната скорост на вятъра от уредите е в този диапазон.

Усреднените данни от измерванията за скоростта и посоката на вятъра са представени съответно на табл. 2 и фиг. 3.

Съгласно данните от измерванията, при известни параметри на две изследвани височини, са определени параметрите на третата височина при използване на съответните математически зависимости.

Таблица 2. Средномесечни стойности на скоростта на вятъра за дадените височини

Месец	Средна скорост 60m m/s	Средна скорост 43m m/s	Средна скорост 22m m/s
Януари	7.28	7.07	6.055
Февруари	7.20	7.10	6.31
Март	6.52	6.40	5.77
Април	6.30	6.15	5.53
Май	5.62	5.53	4.91
Юни	5.15	5.12	4.66
Юли	5.96	5.76	5.24
Август	5.97	5.74	5.21
Септември	6.80	6.71	6.01
Октомври	6.30	6.22	5.48
Ноември	5.95	5.91	5.14
Декември	7.80	7.73	6.65
Average Speed/Year	6.40	6.29	5.58



Фиг. 3. Честота на вятъра по посоки (роза на ветровете)

СРАВНЕНИЕ НА ДАННИТЕ ОТ НАТУРНИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ И ИЗЧИСЛЕНИТЕ С ПОМОЩТА НА МОДЕЛИ

При определянето на скоростния профил по височина обикновено се използват следните два математически подхода:

- Логаритмичен скоростен профил

При този подход се приема, че скоростта се изменя по логаритмичен закон по височина съгласно зависимостите:

$$U(z) = \begin{cases} \frac{U^*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right), & \text{ако } z > z_0 \\ 0, & \text{ако } z \leq z_0 \end{cases} \quad (1)$$

където:

$U(z)$ - скорост на определена височина z над земната повърхност, m/s;

U^* - скорост на триене (в приземния слой), m/s;

k - константа на фон Карман (обикновено се приема за 0,4);

z_0 - повърхностна грапавост, m.

За разглеждания случай, ако е известна средната скорост за две или повече височини над земната повърхност, може да бъде определена факторната грапавост на релефа. Познавайки нея и скоростта в определена точка (z_1), използвайки логаритмична зависимост се построява скоростния профил по височина, респективно може да се определи скоростта във всяка точка по височина (z_2) съгласно зависимостта:

$$\frac{U(z_2)}{U(z_1)} = \frac{\ln(z_2/z_0)}{\ln(z_1/z_0)} \quad (2)$$

- *Степенен закон*

Степенният закон приема, че изменението на скоростта над земната повърхност е съгласно следната зависимост:

$$U(z) = \beta z^\alpha \quad (3)$$

където:

$U(z)$ - скорост на определена височина z над земната повърхност, m/s;

β - съответна константа, m/s;

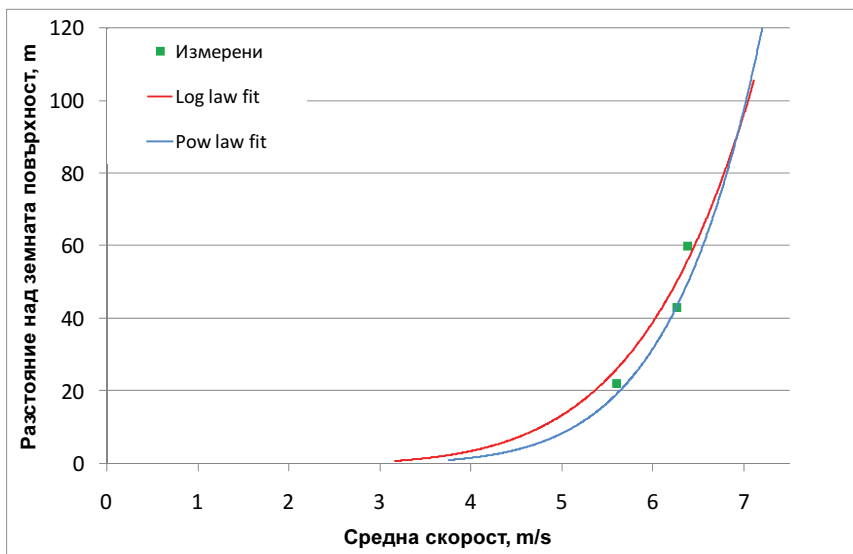
α - експонента на степенния закон;

В този случай, ако са известни скоростите в две или повече точки над земната повърхност, чрез използване на апроксимационна крива, съгласно зависимост (3) може да се определи експонентата на степенния закон. При позната стойност на експонентата и скоростта в определена точка (z_1), използвайки степенен закон може да се определи скоростта във всяка точка по височина (z_2) съгласно зависимостта:

$$\frac{U(z_2)}{U(z_1)} = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^\alpha \quad (4)$$

Съгласно зависимости (3) и (4), като се има предвид факторната грапавост на релефа, са построени скоростните профили по височина (фиг. 4).

Резултатите са обобщение в табл. 3. От таблицата е видно, че при използването на двата закона са получени малко по-високи стойности за средната скорост в сравнение с измерената. При използване на логаритмичния закон това завишение е с 2.42% (0.158 m/s), а при използване на степенния закон – 2.64% (0.173 m/s). Като се отчете факта, че точността на използваните уреди е ± 0.1 , може да се направи извода, че грешката при изчислението е пренебрежимо малка.



Фиг. 4. Скоростни профили по височина

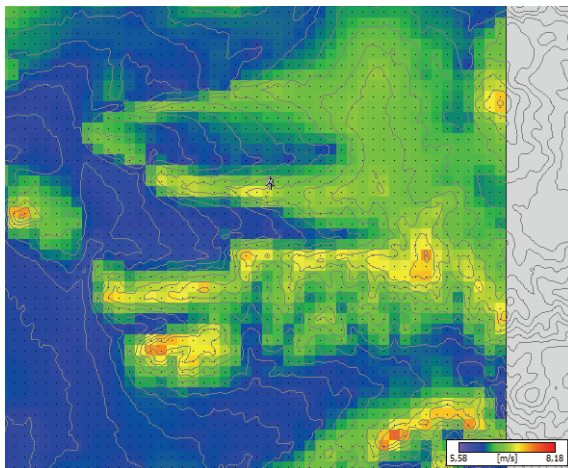
Таблица 3. Средни стойности на скоростта по височина

Височина m	Измерени m/s	Лог. закон m/s	Степ. закон m/s
22	5.60	5.60	5.60
43	6.24	6.24	6.24
60	6.38	6.538	6.553

Резултатите от определянето на скоростния профил по височина показват, че дебелината на граничния слой е приблизително 0.0219 m, което съгласно табл. 1 отговаря на слабо хълмист терен и липса на ветрови пояси. За експонентата на степенния закон се получава 0.136.

Основният извод, който може да се направи е, че за относително равнинни терени, при екстраполация на данните по височина при използването на информация за скоростта на вятъра в две точки, сравнително точно може да се получи информация за скоростите по височина, разбира се при съблюдаване на спецификата на терена. При по-сложни терени обаче, тази разлика ще бъде съществена, поради което е необходимо да се извършват измервания на височина, близка до тази на хъба на турбината, с цел минимизиране на грешката от екстраполация на данните по височина.

На фиг. 5 е представено скоростно разпределение на вятъра на височина 60 m в околността на инсталиране на мачтата посредством използването на комерсиален софтуерен продукт. Тук трябва да се спомене, че при числената симулация е използван реален 3D модел на терена, при което се получава значително по-точна картина на течението. В този случай скоростта на 60 m се изчислява на 6.44 m/s, което в сравнение с реалните измервания е +0.9 %.



Фиг. 5. Разпределение на скоростта на вятъра на височина 60 м

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеното изследване на възможността за използване на съответни апроксимационни зависимости при екстраполация на данните от точката на измерване по височина дава възможност да се направят следните изводи:

- За относително равнинни терени, при екстраполация на данни по височина и налична информация за скоростта на вятъра в две точки, сравнително точно може да се получи разпределението на скоростите по височина.
- Логаритмичният и степенният скоростен модел дават много близки резултати, които се отклоняват от измерените с 2 – 3 %.
- При терени, подобни на изследвания, разгледаните модели могат да се използват за изчисляване на профила на скоростта, без да е необходимо монтиране на високи мачти и провеждане на дълготрайни измервания на тези височини.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nilsson K., Estimation of wind energy production in relation to orographic complexity, Sweden, 2010
 [2] Windographer tutorial, 2009y

За контакти:

доц. д-р Илия Илиев, катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 02 988 00 52; e-mail: iiliev@enconservices.com

доц. д-р Веселка Камбурова, филиал Разград, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 02 988 00 52; e-mail: vkambourova@enconservices.com

гл. ас. д-р Ангел Терзиев, Технически университет – София, катедра “ХАД и ХМ”, e-mail: aterziev@tu-sofia.bg

доц. д-р Пламен Граматиков, катедра „Физика“, Югозападен университет „Н. Рилски“, Благоевград, тел.: 02 988 00 52; e-mail: pgramatikov@enconservices.com

Докладът е рецензиран.