

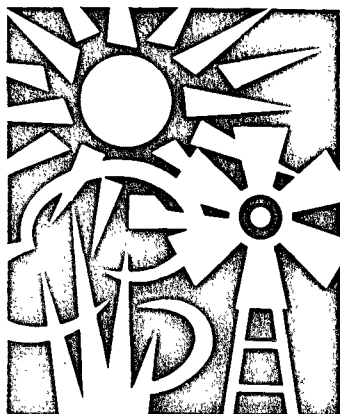


UN LIBRARY

MAY 9 1961

Distr.  
LIMITED

E/CONF.35/W/33/SUMMARY  
12 May 1961  
ENGLISH/FRENCH  
ORIGINAL: ENGLISH



UNITED NATIONS  
CONFERENCE  
ON NEW SOURCES  
OF ENERGY

CONFÉRENCE  
DES NATIONS UNIES  
SUR LES SOURCES NOUVELLES  
D'ÉNERGIE

SOLAR ENERGY, WIND POWER AND GEOTHERMAL ENERGY

ÉNERGIE SOLAIRE, ÉNERGIE ÉOLIENNE ET ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Agenda item/Point de l'ordre du jour:

II.B.1. -

Studies of wind behaviour and investigation of suitable sites  
for wind-driven plants -

Etude du comportement des vents et recherche de sites appropriés  
pour des installations éoliennes -

WIND FLOW OVER HILLS (IN RELATION TO WIND POWER UTILIZATION)

By J. FRENKIEL

Technion, Israel Institute of Technology

REGIME DE L'ÉCOULEMENT DU VENT SUR LES COLLINES (DANS SES  
RAPPORTS AVEC LA MISE EN ŒUVRE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE)

Par J. FRENKIEL

Technion, Institut de Technologie d'Israël

PAPERS HAVE BEEN CONTRIBUTED TO THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON NEW SOURCES OF ENERGY BY INVITATION AND ARE FOR DISTRIBUTION AS WORKING PAPERS FOR THAT CONFERENCE. THEY ARE PUBLISHED AS PRESENTED BY THE AUTHORS, AND THE CONTENTS AND THE VIEWS EXPRESSED ARE THOSE OF THE AUTHORS.

(See notes overleaf)

LES AUTEURS ONT PRÉSENTÉ SUR INVITATION À LA CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR LES SOURCES NOUVELLES D'ÉNERGIE DES MÉMOIRES QUI SERONT DISTRIBUÉS COMME DOCUMENTS DE TRAVAIL DE LA CONFÉRENCE. CES MÉMOIRES SONT PUBLIÉS TELS QUE LES AUTEURS LES ONT RÉDIGÉS ET LES VUES QU'ILS CONTIENNENT SONT CELLES DES AUTEURS.

(Voir notes au verso)

## NOTES

1. The working languages of the Conference are English and French. All papers contributed are reproduced in one or other of these two languages. Where a paper has been reproduced in both working languages for the convenience of a rapporteur, both language versions are provided as part of the Conference documentation.

2. Where any paper has been contributed in one of the official languages of the UN other than English or French, then it has been made available to the conference in that language. A translation of such papers in either English or French (according to the request of the relevant rapporteur) is provided.

3. Summaries of all papers, as presented by the authors, will be available in both working languages—English and French. Summaries will not include diagrams and photographs and should be read in conjunction with the paper proper, which will bear the same reference number as the summary.

4. Papers and summaries will not be generally available for distribution to other than participants and contributors to the Conference until after the Conference, under publication arrangements to be announced.

1. Les langues de travail de la Conférence sont l'anglais et le français. Tous les mémoires présentés sont reproduits dans l'une ou l'autre de ces deux langues. Lorsqu'un mémoire est reproduit dans les deux langues de travail sur la demande d'un rapporteur, la version anglaise et la version française du mémoire font toutes deux parties de la documentation de la Conférence.

2. Lorsqu'un mémoire est présenté dans une langue officielle de l'ONU autre que l'anglais ou le français, il est publié dans cette langue. Les mémoires appartenant à cette catégorie sont en outre publiés en traduction anglaise ou française (selon la demande du rapporteur chargé du sujet considéré).

3. Des résumés de tous les mémoires, établis par les auteurs eux-mêmes, seront publiés dans les deux langues de travail: anglais et français. Les résumés ne contiendront ni diagrammes ni photographies, et il conviendra de les rapprocher du mémoire lui-même, qui portera le même numéro de référence que le résumé.

4. Les mémoires et les résumés ne pourront en général être distribués à des personnes autres que les participants et les auteurs qu'après la Conférence et selon des modalités de publication qui seront annoncées ultérieurement.

# WIND FLOW OVER HILLS (IN RELATION TO WIND POWER UTILIZATION)

By J. FRENKIEL

Technion, Israel Institute of Technology

## SUMMARY

1. INTRODUCTION - In view of the importance attached to the development of local energy resources in Israel, the possibility of wind energy utilization was also considered, in particular by means of wind-electric plants to be connected to the general supply network.

As a result of a wind survey, conducted in the years 1953-1956 several sites have been selected which appear suitable for large-scale generation of electricity by wind power. These sites can be roughly divided topographically into two broad categories:

- (a) a mountain ridge athwart the prevailing wind direction with a steep leeward side, and
- (b) an isolated peak in a valley in the general direction of prevailing winds.

One site in either category - Hreiba and Givat Hamore - was chosen for a detailed investigation of wind behaviour with the purpose to correlate the topography of the site to the characteristics of the wind flow over it.

2. Measurements - At each site-which are of practically the same elevation (528 m. a. s.l. and 517 m. a. s.l.) and only 30 km distant from each other - a 40-m mast was erected, and wind measurements were made at the heights of 10-m, 25-m and 40-m above ground, corresponding to the bottom, the hub-height and the top respectively of a 30-m diameter windmill. These measurements comprised continuous recording of wind direction and wind speed at the three heights, continuous recording of temperature gradient up to 40-m and occasional gust profile recordings. The measurements extended for over a year terminating towards the end of 1960; the records of wind speed and direction and temperature gradient were evaluated in terms of mean hourly values and

transferred to punch cards; those of gusts - in terms of mean wind speeds of each 2-sec (or 1-sec) interval of the records.

3. WIND REGIME AND ENERGY ESTIMATES - Comparison with previous observations from the sites has shown that the period of measurements gave average values both in mean wind speeds, and wind speed spectra; and consequently, the energy estimates derived from the measurements can be taken as representative of long term means. These are (at 25-m above ground) approximately:

	Mean Wind Speed Km/hr	Energy in the Wind KWh p.a./sq.m.	Specific Output		Available Energy for Danish 200 kW plant kWh p.a./sq.m.
			$V_r=32$ km/hr kWh p.a./kW	$V_r=40$ km/hr kWh p.a./kW	
Hreiba	21.9	1800	3100	1800	650
Givat Hamore	25.0	2800	4500	3000	1050

The relationship between specific outputs and mean wind speed on monthly basis is shown to be linear but clearly distinct for the two sites.

4. MONTHLY MEAN HOURLY WIND AND TEMPERATURE PROFILES - are shown to be practically unrelated. The absence of a close relationship between the two quantities in both sites is readily explained by the influence of an additional factor, namely that of hill geometry.

5. EFFECT OF THE SHAPE OF THE HILL ON MEAN WIND PROFILE - is then examined by means of sorting the ratios according to wind direction at  $10^\circ$  intervals and it is shown that there is hardly any influence of the wind speed on directional wind ratios. In general, it can be said that there is no need to analyse wind ratio for different wind speeds, and that ratios obtained from the continuous record of wind run at different levels (provided the direction is constant), will apply with good degree of approximation to the operational range of wind speeds of any aerogenerator.

There is a definite variation, however, of the ratios with the direction. The range of this variation is as follows:

	$V_{25m} / V_{10m}$	$V_{40m} / V_{10m}$
Hreiba (ridge)	1.135 - 1.399	1.179 - 1.499
Givat Hamore (isolated hill)	0.988 - 1.075	0.969 - 1.096

These variations can be approximately accounted for by the hill profile, but for a quantitative relationship account has to be taken of the thermal stratification.

#### 6. EFFECT OF THERMAL STRATIFICATION ON DIRECTIONAL

WIND PROFILE - is shown to be important for all wind speeds. In Givat Hamore the curves of wind ratio as a function of temperature gradient exhibit all a clear minimum for about  $T_{40m} - T_{10m} = -0,5^{\circ}C$  or a little more than one and half the dry adiabatic lapse rate. This is explained by the fact that the low values of wind ratios at this site are below 1, which means that the differences between wind speeds at different levels are at their maxima, albeit secondary ones. More surprising is the fact that a similar minima exists for Hreiba for wind ratio values well above 1 although in this case they are found in much higher lapse rates.

#### 7. EFFECT OF THE HILL PROFILE ON WIND PROFILE IN NEUTRAL

CONDITIONS - is then analysed, and it is shown that the wind profile is determined by

- (a) hill profile in the immediate neighbourhood of the measurements site;
- (b) hill profile further upwind in relation to that near the measurements site.

To have low wind ratios the hill must have a small hill-top area; this condition cannot in general be fulfilled in a hill forming a part of a mountain ridge. A large flat hill-top area produces wind ratios well in excess of those met over level country and must be avoided. The slope should be as uniform as possible in the last few hundred meters. The optimal slope is about 1 in  $3.1/2$ . If it reaches to within 20-30 meters from the top it will produce uniform flow conditions in the height interval from 10-m to 40-m. A steeper slope will produce a pronounced inverse gradient, and should again be avoided.

#### 8. CONCLUSIONS - To classify the relative worth of a wind power site,

a single criterion is sufficient, namely the mean wind vertical gradient for the height interval from 10-m to 40-m above ground. For optimal conditions for wind power utilization this gradient must vanish within 5 per cent. Such flow conditions are the result of regular slopes of about 1 in  $3.1/2$  (inclination  $16^{\circ}$ ) in the nearest few hundred meters from the hill top.

In the second category of very good wind power sites could come hills exhibiting a rise of wind speed of 5-10 p. c. between 10-m and 40-m. Such conditions are the result of smooth regular slopes of about 1 in 6 (inclination  $10^\circ$ ).

The third category, of good wind power sites, could be formed by hills showing a rise in the mean wind speed of 10-15 p. c. in the (10,40) m interval. These would usually be the hills of smooth regular shallow slopes (about 1 in 10) or fairly rough but regular slopes of about 1 in 6.

Finally, the fourth category that of fair wind power sites could comprise the sites for which

$$1.15 < V_{40m}/V_{10m} < 1.21$$

These conditions could be occasioned by a great variety of topographical features ranging from low-level coastal sites through a smooth aerodynamically very shallow slope and a very rough aerodynamically but regular steep slope to finally a very steep slope with gradual slope gradient within the area of about 50-m radius from the hill top. The corresponding mean power law index  $\alpha$  would be less than 0.14.

Any site characterized by  $\alpha > 0.14$  should be avoided unless no other sites with smaller  $\alpha$  can be found.

## REGIME DE L'ECOULEMENT DU VENT SUR LES COLLINES.

(Dans ses rapports avec la mise en oeuvre de l'énergie éolienne)

Par J. Frenkiel  
Technion - Institut de Technologie d'Israël

### Résumé

1. INTRODUCTION. - Compte tenu de l'importance que l'on prête au développement des ressources énergétiques nationales en Israël, on s'est attaché, entre autres, à la possibilité de mettre l'énergie éolienne en oeuvre, particulièrement au moyen de centrales électriques entraînées par cette énergie, centrales dont la production pourrait être envoyée au réseau général de distribution.

A la suite d'études sur le régime des vents, menées entre 1953 et 1956, on a choisi plusieurs sites qui semblent appropriés pour la production d'électricité à grande échelle par l'énergie éolienne. Topographiquement, on peut répartir ces sites en deux grandes catégories :

- (a) crête de montagne orientée sensiblement à angle droit avec la direction prédominante des vents avec versant sous le vent à pente raide, et,
- (b) pic isolé situé dans une vallée dont l'orientation est la même que celle des vents prédominants

On a choisi un site dans chacune de ces catégories -- Hreiba et Givat Ham're -- dans le but de procéder à une étude détaillée du comportement du vent, pour établir une corrélation entre la topographie du lieu et les caractéristiques de l'écoulement du vent en sa surface.

2. Mesures. On a dressé un mât de 40 mètres en chacun des sites en cause, lesquels se trouvent virtuellement à la même hauteur (528 m et 517 m au-dessus du niveau de la mer) et à 30 km seulement l'un de l'autre et on a procédé à des mesures anémométriques aux cotes 10m, 25m et 40m au-dessus du sol, correspondant au bas des pales, au moyeu et à la partie supérieure des pales d'une éolienne de 30m de diamètre. Ces mesures ont comporté des enregistrements continus de la direction et de la vitesse du vent aux trois cotes, des enregistrements, également continus, des écarts de température jusqu'à 40m et des tracés occasionnels des systèmes de rafales. Ces mesures se sont faites au cours d'une année, terminée vers la fin de 1960, les données sur la vitesse et la direction du vent, ainsi que l'écart ou gradient de température ont été exprimées en valeurs horaires moyennes et transcrites sur des cartes à perforations et celles des rafales -- en fonction des vitesses de vent moyennes -- sur chaque intervalle de deux secondes ou une seconde des enregistrements.

3. EVALUATIONS DU REGIME DES VENTS ET DE L'ENERGIE -- Les comparaisons faites avec des observations antérieures des mêmes sites ont démontré que la période prise pour les mesures donnait des valeurs moyennes, tant pour l'intensité du vent que pour la répartition des vitesses, si bien que les évaluations relatives à l'énergie, faites à partir des mesures, pouvaient être prises comme caractéristiques de moyennes à long terme. A 25m au-dessus du sol, ces évaluations sont:

	Vitesse moyenne du vent km/h.	Teneur du vent en énergie kWh p.a. par m <sup>2</sup>	Débit spécifique		Energie disponible pour la centrale danoise de 200 kW kWh par an/m <sup>2</sup>
			V <sub>32</sub> kW/h kWh par an par kW an par kW	V <sub>40</sub> kW/h kWh par an par kW	
Hreiba	21.9	1800	3100	1800	650
Givat Hamore	25.0	2800	4500	3000	1050

Le rapport entre les débits spécifiques et la vitesse moyenne du vent sur une base mensuelle est linéaire mais nettement différent pour les deux sites.



4. COURBES MOYENNES MENSUELLES DES VENTS ET DES TEMPERATURES. On observera que ces valeurs n'ont virtuellement pas de rapports entre elles. L'absence de rapports étroits entre les deux quantités pour les sites en cause s'explique facilement par un élément supplémentaire, la géométrie des collines.

5. REPERCUSSIONS DE LA FORME DE LA COLLINE SUR LA COURBE MOYENNE DES VENTS.  
On l'examine en classant les proportions suivant la direction du vent tous les dix degrés et on démontre qu'il n'y a pour ainsi dire pas d'influence de la vitesse du vent sur les proportions en fonction de sa direction. Généralement parlant, on peut affirmer qu'il n'a pas besoin d'analyser les proportions applicables aux diverses vitesses et que celles que donnent les archives continues du vent tel qu'il souffle à divers niveaux (pourvu que sa direction soit constante), s'appliquent avec une bonne approximation sur la gamme des vitesses de vent acceptables pour un générateur à énergie éolienne quelconque.

On note, en revanche une variation très nette des proportions en fonction de la direction. La gamme des variations est la suivante:

	$V_{25m} / V_{10m}$	$V_{40m} / V_{10m}$
Hreiba (crête)	1.135 - 1.399	1.179 - 1.499
Givat Hamore (colline isolée)	0.988 - 1.075	0.969 - 1.096

On peut expliquer ces variations en partie par le profil de la colline mais, pour des rapports quantitatifs, il faut tenir compte de la stratification thermique.

6. EFFET DE LA STRATIFICATION THERMIQUE SUR LA VARIATION DU VENT AVEC LA DIRECTION. - Son importance est marquée pour toutes les vitesses du vent. A Givat Hamore, les courbes qui donnent la proportion en fonction du gradient ou écart de température accusent un minimum net au voisinage de  $T_{40m} - T_{10m} = -0,5^{\circ} C$ , soit un peu plus d'une fois et demie le taux de décroissance adiabatique en milieu sec. Ceci s'explique par le fait que les faibles proportions que l'on trouve pour les vents en ce lieu sont inférieures à 1, ce qui veut dire que les différences entre les vitesses à divers niveaux sont à leur maxima, bien que ce soient là des maxima secondaires. Le plus étonnant, c'est que l'on trouve des minima du même ordre pour Hreiba, avec des valeurs de la proportion largement supérieures à 1 bien que, dans ce cas, on les trouve dans des zones où le taux de décroissance de la température est beaucoup plus fort.

7. REPERCUSSIONS DU PROFIL DE LA COLLINE SUR LA REPARTITION DU VENT EN SITUATION NEUTRE. - On démontre que la répartition des vents est conditionnée par:

- Le profil des collines au voisinage immédiat du site des mesures;
- Le profil des collines plus loin au vent, par rapport à ce qu'il est près du site des mesures.

Pour que les proportions de vent soient basses, il faut que la surface de la crête de la colline soit petite, condition qui ne peut pas habituellement être satisfaite là où la colline fait partie de la crête montagneuse. Les surfaces de colline plates et étendues donnent des proportions nettement supérieures à celles que l'on trouve en pays plat et sont à éviter. La pente doit être aussi uniforme que possible sur les quelques dernières centaines de mètres, la pente idéale est de l'ordre de 1 par 3,5. Si elle se poursuit jusqu'à une distance de l'ordre de 29 à 30 m du sommet, on trouvera des conditions d'écoulement uniforme dans les hauteurs allant de 10 à 40m. Toute pente plus marquée fera apparaître un renversement marqué du gradient: il faut l'éviter.

8. CONCLUSIONS.- Pour classer la valeur relative d'un site d'installation à énergie éolienne, on peut se contenter d'un seul critère: le gradient vertical moyen du vent pour la gamme de hauteurs allant de 10 à 40 m à compter du sol. Pour les conditions idéales d'utilisation de l'énergie éolienne, ce gradient doit disparaître en moins de 5%. Ces conditions d'écoulement résultent de pentes régulières de l'ordre de 1 à 3,5 (inclinaison 16°) sur les dernières centaines de mètres à compter du sommet de la colline.

Dans la deuxième catégorie de sites encore très bons pour les installations d'énergie éolienne, on pourrait nommer des collines sur lesquelles la vitesse moyenne du vent augmente de 10 à 15% dans l'intervalle allant de 10 à 40 m. Il s'agira le plus souvent de collines ayant des pentes douces bien égales de l'ordre de 1 sur 6 (inclinaison 10°).

La troisième catégorie, celle des bons emplacements, pourrait être composée de collines sur lesquelles la montée de la vitesse moyenne du vent est de 10 à 15% sur l'intervalle allant de 10 à 40 m. Il s'agirait le plus souvent de collines ayant des pentes douces régulières (1 sur 10 environ) ou des pentes relativement brusques mais régulières, de 1 à 6 environ.

Finalement, la quatrième catégorie, ou celle des sites acceptables sans plus, pourrait comporter les sites pour lesquels

$$1,15 < V_{40m} / V_{10m} < 1,21$$

Ces conditions peuvent être créées par l'un d'une grande variété d'accidents topographiques allant des emplacements bas situés aux pentes aérodynamiquement égales et très douces et aux pentes brusques aérodynamiquement très dures mais régulièrement rapides jusqu'à, finalement, une pente très dure en progression régulière dans la zone d'un rayon d'une cinquantaine de mètres du sommet. L'indice applicable à la loi de la puissance moyenne ou  $\alpha$  serait inférieur à 0,14.

Tout site pour lequel  $\alpha > 0,14$  est à éviter, à moins que l'on ne puisse pas trouver d'emplacement ayant un  $\alpha$  plus petit.