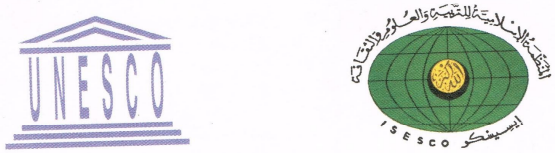


صيانة نظم إنتاج الطاقات المتجددة

الجزء الثالث

صيانة نظم
المحركات الهوائية

2005

صيانة نظم إنتاج الطاقات المتجددة

الجزء الثالث

صيانة نظم المحركات الهوائية

تأليف	أعد تحت إشراف	ترجمه عن الفرنسية	مراجعة
فتح الله عفاني نايسة عبد المولى	عثمان بن الشيخ محمد المبدي	عزيز ساسي	محمد المعالج

2005

صيانة نظم المحركات الهوائية

المجلد 3

تحت إدارة

عثمان بن الشيخ ومحمد مُبدي

المؤلّفان

فتح الله العفّاني

نيساء عبد المولى

تمهيـد

يشكل ضعف نسبة تزويد سكان الأرياف بالطاقة في الدول النامية، عائقا هامّا للنموّ الاقتصادي والاجتماعي (السوسيو اقتصادي) لهذه المناطق. واستنادا لهذا الواقع، ولتقليص الفوارق بين الوسطين الحضري والريفي، شرع عدد من البلدان في تفعيل سياسات تهدف إلى جعل طرق استهلاك الطاقة أكثر نجاعة من جهة، وإلى استغلال موارد الطاقة المتجددة من جهة أخرى.

ووعيا منه بالدور الذي يمكن أن تلعبه الطاقات المتجددة في بعض المناطق من العالم، بعث قسم العلوم الهندسية والتكنولوجيا بمنظمة اليونسكو بإدارة السيد بوريس بيركوفسكي برنامجا عالميا طموحا حول الطاقة الشمسية تحت عنوان **"مسار قمّة الشمس العالمية"**. ويتميز هذا البرنامج الذي يحدد إطارا للتنسيق بين المبادرات المختلفة بكونه يُشرك كل الفاعلين (صناع القرار لدى الدول، مسؤولي برامج، مؤسسات حكومية وبيحكومية، جمعيات، صناعيين، فاعلين وطنيين، مستخدمين...) من مناطق مختلفة من العالم ويضع نصب أعينهم نفس الهدف، وهو جعل الطاقات المتجددة تتبوأ المكانة الجديرة بها في النظام الطاقي العالمي.

وفي هذا الإطار، وقع اعتبار التعليم قطاعا استراتيجيا (ذا أهمية كبرى على الصعيد العالمي) خلال المشاورات الإقليمية المختلفة السابقة، مما يدل على الأهمية التي تعطيها الأمم لتأهيل مواردها البشرية التي تُعدّ أساسا لكل نموّ، وهو قطاع تعاني فيه الدول النامية عوزا جليّا. ولضمان نجاح أي برنامج لاستغلال الطاقات المتجددة، وجب على الأخصائيين، بمختلف مستوياتهم، الإلمام بالتجهيزات والمعدّات المستعملة في المشروع، وكذلك ضمان صيانتها وإصلاحها.

ومن المفترض أيضا ضمان تكوين (تأهيل) الأطر في مجال الطاقات المتجددة، وعلى كافة المستويات، ولا سيما على مستوى أصحاب القرار والمخططين (المهندسين، الاقتصادين، الأطر الإدارين)، والباحثين والمستخدمين، وعلى وجه أخصّ التقنيين المحليين المكلفين بالصيانة وإرشاد المستعمِلين. وعلى هذا الأساس، ارتئي إعداد حقيبة تعليمية متعددة الوسائط حول صيانة نظم الطاقات المتجددة (وثائق مكتوبة، صور استعراضية، أشرطة فيديو وبرامج حاسوب). ومن شأن هذه الأداة الثمينة الموجهة إلى التقنيين المحليين، تحسين مهاراتهم وتزويدهم بالعناصر التعليمية اللازمة لضمان خدمات صيانة أفضل للمعدات والتجهيزات.

فهـرس

مقدمة 1

الجـــزء الأول
اتجاه الرياح

1. الأسباب الرئيسية في تحريك الرياح 3
2. أشكال الرياح 8
3. توزيع مقدار التردد 15
4. معايير تحديد موقع إنتاج الطاقة الهوائية 16

الجـــزء الثاني
محرك هوائي ميكانيكي أو بمروحة متعددة الشفرات

1. مبادئ عامة وتطبيقات 19
2. حساب قوة الريح 30
3. تحديد أبعاد المنشآت 33
4. صيانة وإصلاح 38

الجـــزء الثالث
محرك هوائي كهربائي أو مولد هوائي

1. مبادئ عامة وتطبيقات 47
2. حساب قوة الريح 63
3. المولد الكهربائي 64
4. تحديد أبعاد المنشآت 66
5. صيانة وإصلاح 68

خاتمة 72

مراجع 73

مـقدمة

تعد الطاقة الهوائية من بين مصادر الطاقات المتجددة التي استعملت منذ وقت طويل في أرجاء العالم.

فهي تتميز بكونها مصدرا للطاقة لا ينضب، نظيفة ومجانية. ولكنها في المقابل، تعدّ أيضا طاقة عشوائية يصعب التحكم فيها.

ويتلخص المبدأ الأساس لهذه التقنية في تحويل طاقة الريح إلى طاقة ميكانيكية كافية لضخ المياه أو لإنتاج الطاقة الكهربائية.

لم تظهر أولى طواحين الهواء في أوربا إلاّ خلال سنوات **1870**، ثمّ تطوّرت تقنية استعمالها ممّا أدّى إلى مراوح الهواء الميكانيكية، التي عُرفت باسم "المراوح متعددة الشفرات" والتي استخدمت في ضخ المياه.

في سنة 1802، تم توصيل مولد للطاقة الكهربائية بمحرك هوائي. ولكن اختراع الدينامو لم يتم إلا سنة 1880، وهو الذي يسمى اليوم بالمولد الهوائي.

بقي الاهتمام بالآلات التي تستعمل طاقة الرياح متأثّرا بتقلب أسعار النفط. و قد تزايدت البحوث العلمية منذ أزمة الطاقة التي عرفتها سنوات السبعينيات من القرن الماضي، مما أتاح للمصنعين اليوم اقتراح آلات ذات فعالية متزايدة.

ولقد ساهم إنشاء محطات الأرصاد الجوية وتطوّر تقنية تسجيل البيانات المتعلقة بحركة الرياح وإدخال وسائل الحساب الآلية السريعة، في إعطاء دفعا قويا لتطور هذه التقنية. وحين البدء في مشروع إنشاء محطة طاقة هوائية، لا بدّ أن نأخذ في الحسبان اختيار الموقع، وملائمة طاقة الرياح المتاحة في المنطقة مع الحاجيات الحقيقية للسكان من الطاقة والخصائص التقنية والاقتصادية للآلة المستعملة. كلّ هذه الاعتبارات أساسية وضرورية في إنشاء المشروع.

و لتقييم كمية الطاقة التي يمكن توليدها من الرياح، يجب القيام بتحليل المعطيات المتعلقة بهذه الرياح، وذلك بتحديد قوتها ونسبة ترددها. وعلى هذا الأساس، يتم حساب السرعات المتوسطة للرياح في أوقات مختلفة من اليوم والسنة وما بين السنوات. ويستوجب التقدير الدقيق لكمية الطاقة الهوائية، الحصول على معطيات مفصلة عن مقدار تردد الرياح وقدراتها وذلك لمختلف سرعات الرياح.

إذا، قبل القيام بإنجاز مشروع للطاقة الهوائية في موقع ما، وجب أولا الحصول على أدنى حد ممكن من المعلومات عن القدرات الهوائية المتاحة بالمنطقة. ويتطلّب الاستعمال السليم لطاقة

الرياح اختيارا حكيما لموقع المحطة، ويتمّ هذا الاختيار ذلك حسب السرعة المتوسطة للرياح، واتجاهها، ومقدار ترددها، وكذلك حسب العوائق المحيطة التي من شأنها عرقلة سيران الرياح.
وبمجرد إنجاز المشروع، تصبح مسألة الصيانة والإصلاح أمرا ضروريا وحاسما، بحكم أن المعدات المستعملة في توليد الطاقة الهوائية هي آلات تدور باستمرار. وتمكّن الصيانة المنتظمة من:

- الزيادة في العمر الافتراضي للنظام.
- النقص في الأعطاب والأضرار.
- تقديم خدمة جيدة للمستعملين.
- منع تدهور الأداء التقني في النظام.
- الحفاظ على مردودية الأجهزة واعتماديتها.

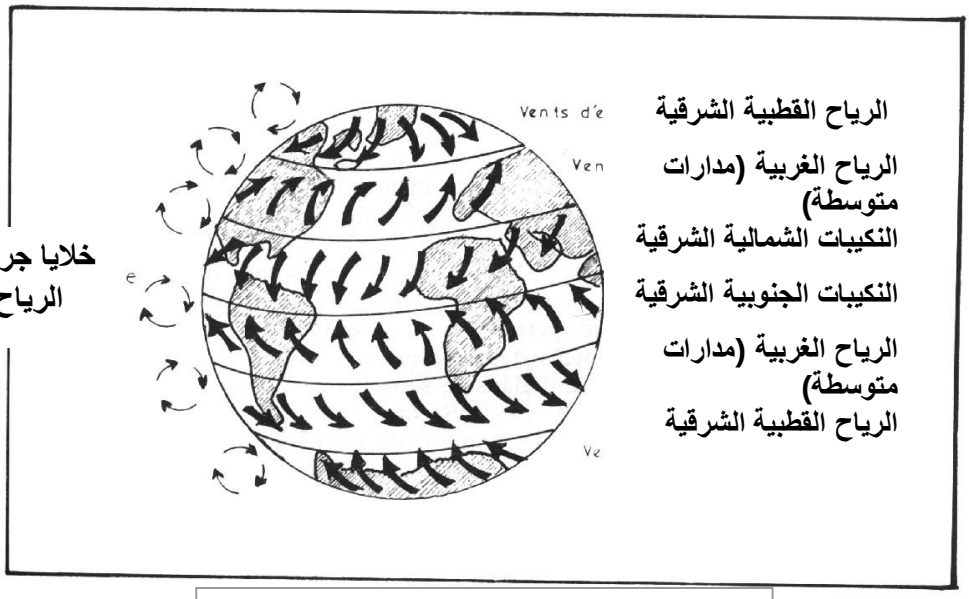
الجـــزء الأول

اتجاه الرياح

1- الأسباب الرئيسية في تحريك الرياح

1. 1 حركة الرياح العامة داخل المحيط الجوي وأنظمة الضغط شبه الدائمة:

يتكون المحيط الجوي من طبقة رقيقة من الغاز تحيط بالأرض وتستقبل أشعة الشمس التي تسخنها. وبما أن هذه الأشعة تكون غير متساوية في شدة التركيز على سطح الأرض، فإن درجة التسخين تختلف باختلاف المناطق. فالهواء الساخن يتمدد، في حين أن الهواء البارد يتقلص. وينجم عن هذه العملية في جميع أنحاء العالم مناطق ضغط مرتفعة أو منخفضة. فمثلا، عند خط الاستواء يتمدد الهواء الساخن ويرتفع، وحين وصوله إلى علو معين يبتعد عن المنطقة الاستوائية باتجاه الشمال والجنوب. وينجم عن نقص الضغط في هذا المكان منطقة ضغط جوي منخفض. أما في منطقة القطبين، فإن الهواء يتقلص ويتجمع على سطح الأرض لينتج ضغطا جويا مرتفعا. إذن، فالريح هي بالأساس نتاج للهواء الذي يتحرك تبعا لحالات الضغط المختلفة.
ويوجد لدينا تصميم على صعيد الكرة الأرضية دقيق نسبيا يبن أنظمة الضغط الكبرى التي تنتج رياحا تخص مساحات واسعة، تسمى بالرياح الدائمة. ويعطي الشكل 1 فكرة مبسطة عن هذا التصميم الأساس، الذي يُعرف بحركة الرياح العامة.



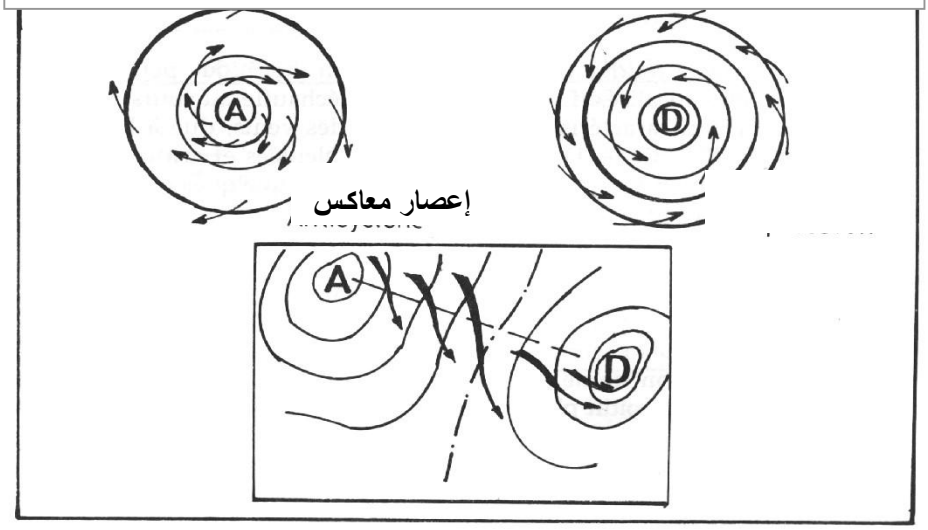
الشكل 1: حركة الرياح العامة

توجد مناطق الضغط المنخفض قرب خط الاستواء، وبجوار خطوط العرض 60 درجة. أما بجوار خطوط العرض 30 والمنطقة القطبية فإننا نجد مناطق ضغط مرتفعة نسبيا. فالجو يتحرك بين مناطق الضغط تلك، منتجا خلايا كبيرة لجريان الرياح، حيث يبدأ بالتحرك على علو منخفض في مناطق الضغط المرتفع إلى أن يصل إلى مناطق الضغط المنخفض. وهناك يبدأ بالارتفاع تدريجيا إلى أن يصل إلى مستوى معين ثم يعود مرة أخرى إلى مناطق الضغط المرتفع، لتكتمل الحلقة بذلك. وبذلك، تتكون لدينا ثلاث خلايا لجريان الرياح في كل نصف من الكرة الأرضية. والرياح السطحية الموجودة داخل تلك الخلايا هي الرياح الدائمة التي نعرفها.

غير أن هذه التيارات الرئيسية لا تتحرك تماما باتجاه الشمال أو الجنوب، بل تنحرف عن مسارها بسبب القوى المسلطة عليها من جراء دوران الأرض والتي تعرف بقوى كوريوليس. ففي النصف الشمالي من الكرة الأرضية، تنحرف الرياح باتجاه اليمين، أما في النصف الجنوب فالانحراف يكون يسارا.

وتنشأ عن حركة الرياح هذه سلسلة من النطاقات الريحية. فبين خط الاستواء وخط العرض 30 شمالا، نجد رياحا شمالية شرقية تسمى بالنكيبات الشمالية الشرقية. أما بين خطي العرض 30 و 60 شمالا، فنلاحظ رياحا غربية مسيطرة تسمى الرياح الغربية المدارية المتوسطة. وأخيرا من خط العرض 60 إلى القطب الشمالي، فتهب الرياح القطبية الشرقية. وتكون الرياح المرتفعة في كافة الخلايا رياحا غربية. كما نلاحظ أن النصف الجنوبي من الأرض توجد به نفس أنواع الرياح.
كما تنشأ أيضا عن حركة الرياح سلسلة من النطاقات الهادئة. فالمناطق المجاورة لخطوط الطول 30، حيث تنحرف النكيبات والرياح الغربية المدارية المتوسطة، تعتبر مناطق هادئة نسبيا. وبنفس الطريقة، تعتبر المنطقة الاستوائية، حيث تنحرف كلتا النكيبات، منطقة رياح ضعيفة. فهاتين المنطقتين تمثلان ارتفاع الهواء أو انخفاضه.
الوصف أعلاه مبسط للغاية. فالتضاريس القارية والجبال وسطح المحيط والتيارات المحيطية الرئيسية تغير من خصائص حركة الرياح العامة، وتفرض على المرتفعات والمنخفضات الجوية أن تبقى باستمرار في مناطق دون غيرها أو أن تتجنب مناطق أخرى. وعوض أن تكون هناك مجموعات بسيطة من المرتفعات والمنخفضات الجوية تحيط بالأرض، فإننا نجد أنظمة ضغط دائرية هائلة، تعرف بأنظمة الضغط شبه الدائمة. وتوجد هناك أنظمة ضغط منخفض شبه دائمة (تعرف أيضا بالانخفضات الإعصارية) تتشكل من مناطق واسعة من الهواء الذي يرتفع ويدور بالاتجاه المعاكس لعقارب الساعة)في النصف الشمالي من الكرة الأرضية). أما أنظمة الضغط المرتفع شبه الدائمة (أعاصير معاكسة) فهي مناطق واسعة من الهواء الذي ينخفض، يكون فيه الدوران في اتجاه عقارب الساعة في النصف الشمالي من الأرض (انظر الشكل 2).

الشكل 2: اتجاه دوران الرياح حول أنظمة الضغط الجوي



وعوض أن تنتقل الرياح مباشرة من المرتفعات الجوية إلى المنخفضات الجوية، فإنها تتخذ مسارا دائريا حول وبين أنظمة الضغط تلك. وبسبب القوى النابذة، قوى كوريوليس، وكذلك قوى الاحتكاك، تتنقل الرياح تقريبا بشكل متواز مع منحنيات تساوي الضغط. (isobares)

1. 2 الرياح المحلية:

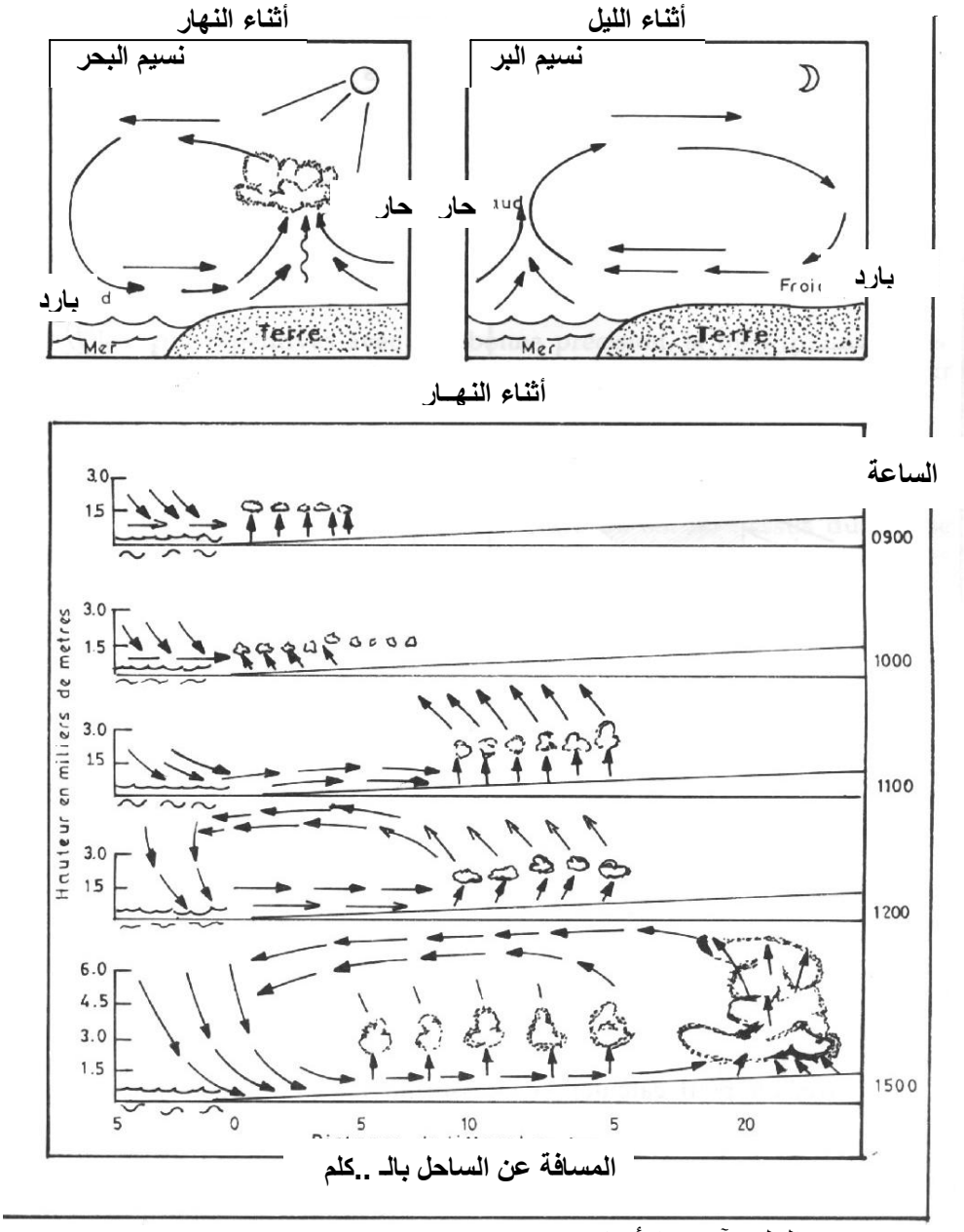
تعد حركة الحرارة في الجو سببا آخر مهما في تكوين الرياح، ولكن على مستوى محلي فقط. فسطح الأرض يتعرض للتسخين بدرجات متفاوتة حسب الأمكنة، فتتكون مناطق ساخنة نسبيا وأخرى باردة. وبينما يتميز الهواء الساخن بارتفاعه عن السطح لكونه أقل كثافة، يتحرك الهواء الأكثر برودة على سطح الأرض ليأخذ مكان الهواء الساخن. ويمكن توضيح حركة الحرارة الجوية في مسار بسيط.

تختلف قوة حركة الحرارة الجوية المحلية حسب عدة معايير، مثل طبيعة التضاريس في المكان المراد استغلاله، ودرجة الحرارة، ونسبة الرطوبة في الجو وتأثيرها على سطح الأرض في تلك المنطقة، وسرعة تغير درجات حرارة الجو تبعا لنسبة الارتفاع عن سطح الأرض. وعموما، تنخفض درجة الحرارة بازدياد الارتفاع عن سطح الأرض، ولكن سرعة برودة الهواء تختلف كثيرا حسب الظروف المناخية المحلية. فحين ترتفع حزمة هوائية ساخنة في الجو، فإنها تتمدد وفي نفس الوقت تفقد حرارتها كلما زاد الارتفاع، ولكن دون أن تصل درجة برودتها بالضرورة إلى نفس حرارة الهواء المحيط بها. وستواصل تلك الحزمة الهوائية ارتفاعها مادامت درجة حرارتها أكبر وأقل كثافة من الهواء المحيط بها. وحسب التأثيرات المترابطة فيما بينها لهذه العوامل مجتمعة، فإن سرعة الارتفاع تكون إما في حالة تأخير، ونتحدث هنا عن الحالات المستقرة، أو تكون سريعة، وهي الحالات غير المستقرة. في الأماكن المشمسة والجافة والحارة، تكون الظروف عادة غير مستقرة للغاية أثناء النهار، ولكنها تعود إلى الاستقرار أثناء الليل.

هذا المخطط النظري الأساس للدورة الحرارية يمكن أن يؤدي إلى تكوين رياح محلية. فحين ترتفع حرارة الأرض أثناء النهار، نلاحظ هبوب الرياح من جديد، وذلك بسبب ازدياد سرعة الدورة الحرارية. في المناطق المشمسة والجافة، يمكن أن تتسبب هذه الدورة الحرارية في هبوب رياح قوية. ويوجد هناك حالات خاصة من الدورة الحرارية التي تُنتِج رياحا محلية مختلفة، كالتي سنعرض لها فيما يلي.

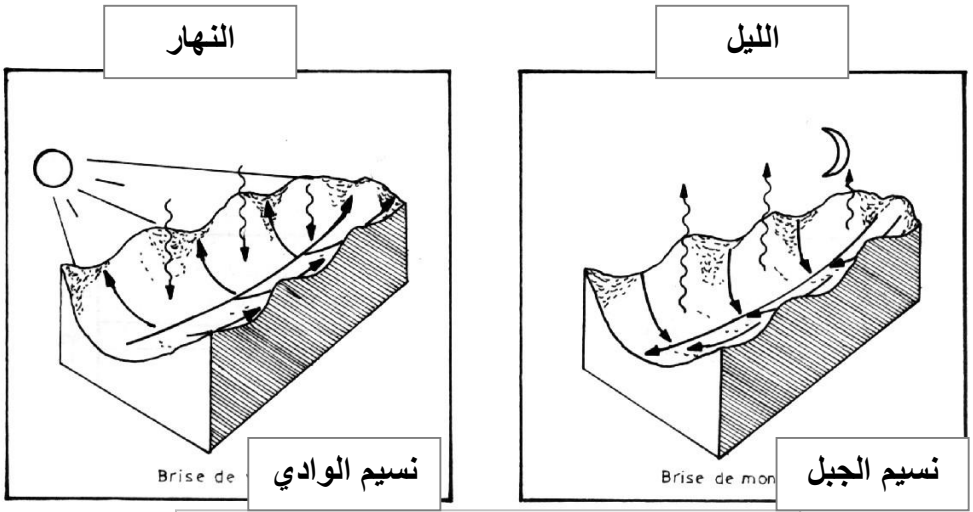
فنسيم البر والبحر مثلا هو أحد دورات الرياح المحلية التي تتصف بها المناطق الساحلية (الشكل 3). فحين تسطع الشمس، ترتفع درجة حرارة الأرض أسرع من البحر، وهو ما ينتج عنه ارتفاع الهواء من على سطح الأرض ليشكل نسيما قادما من عرض البحر. وتنعكس الآية أثناء الليل، حيث يبرد الهواء على سطح الأرض بسرعة أكثر من مثيله فوق البحر فيتغير مسار الدورة الهوائية باتجاه البحر. وتكون قوة نسيم البحر أثناء النهار عموما أقوى من نسيم البر أثناء الليل، وذلك بسبب تباين درجات الحرارة المرتفعة. فيهب نسيم البحر ابتداء من منتصف الصباح ليشتد أثناء النهار وليتلاشى مع حلول الظلام. ثم يبدأ بعدها نسيم البر في الهبوب بشكل لطيف وليمتد حتى طلوع الصباح. ويمكن لنسيم البحر أن يخترق البر إلى حدود 20 كلم، وفي بعض المناطق يمكنه أن يصل إلى 50 كلم. فمع اشتداد هبوب الرياح أثناء النهار، تواصل الدورة الهوائية اختراقها داخل المناطق البرية.

الشكل 3: نسيم بحر/أرض



العلو بآلاف الأمتار= hauteur en milliers de mètres

وهناك أيضا نسيم الجبل والوادي، وهما أحد الأشكال الأساسية في الدورة الحرارية المحلية، ولكننا لا نجدهما إلا في بعض المناطق الجبلية (الشكل 4). فمع ارتفاع الحرارة أثناء النهار، يسخن الهواء في الوادي ويترفع على طول سفح الجبل. وأثناء الليل، يبرد الهواء المرتفع المتواجد فوق سفح الجبل وينخفض على طول منحدر الوادي. وتكون هذه الدورة عموما أضعف من نسيم البر والبحر؛ غير أنه في بعض الأحيان تلعب تضاريس طبوغرافية معينة دورا في تجميع هذه التيارات الهوائية لتحولها إلى رياح قوية.



الشكل 4: نسيم الجبل والوادي

2- الرياح وتقلّباتها:

تتميز الريح بخاصيتين متغيرتين: السرعة والاتجاه.

باستطاعتنا قياس متوسط سرعة الريح الشهرية أو السنوية انطلاقا من المعطيات المسجلة بواسطة مقياس الريح، واستعمالها لتحديد قيمة الريح في الموقع المراد استغلاله. ومع كل تسجيل لهذه السرعة نقوم أيضا بتحديد اتجاه مسالك الرياح، المأخوذة من دوارة الريح (أجولي). انظر الشكل 1

تمكننا هاتين الخاصيتين من معرفة تغيرات الرياح، ولكن لا يجب إغفال بعض التغيرات اللحظية، أو الفصلية أو تلك الناتجة عن المعالم التضاريسية، والتي من شأنها أن تؤثر سلبا على أداء المحطة الهوائية أو على نجاح المشروع برمته. ونذكر على الخصوص:

- <u>هبات الريح:</u>

يصعب تحديدها بدقة، فهي تتميز بخاصية لحظية. كما أنها تخلق مشاكل وصعوبات بالنسبة للمحرك الهوائي ودعامته، وهو ما يجب التطرق إليه عند إعداد أو كتابة دفتر التحملات.

- <u>التغيرات الشهرية (الشكل 2):</u>

يسمح متوسط حساب التسجيلات المأخوذة خلال كل شهر للشخص المكلف بالمشروع باختيار النظام الأكثر ملائمة للتغيرات التي تحدث على الاحتياجات من الطاقة على طول السنة.

- <u>التغيرات السنوية (الشكل 3):</u>

وهي تغيرات تتكرر بقدر كبير من الدقة، لدرجة أن سنة واحدة من تسجيل المعطيات تكون كافية لتكوين فكرة عن كمية الطاقة الهوائية الممكن إنتاجها في موقع ما.

- <u>التغيرات حسب الارتفاع (الشكل 4):</u>

وتعتمد أساسا على طبيعة التضاريس التي تنتشر فوقها كتل الهواء. ويمكن تمثيل هذه التغيرات نسبيا بالقاعدة التالية:

$$(V_1/V_2) = (h_1/h_2)^{\alpha}$$

حيث (V_1) و(V_2) يمثلان قيم سرعة الريح عند الارتفاع h_1 (عادة h_1 = 10 أمتار فوق سطح الأرض)، و عند ارتفاع محور المولد الهوائي (h_2).

ويمثل الأس α سطح الأرض المحيطة بالمحطة. وسنجد فيما يلي بعض القيم المأخوذة لـِ α لأشكال مختلفة من الأرض.

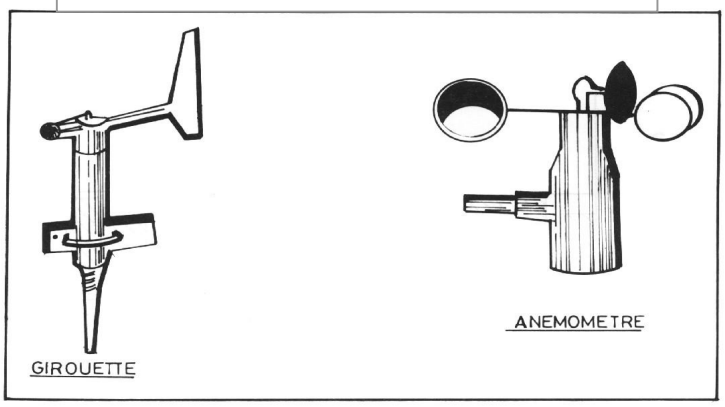
نوعية الأرض		الأس
مسطحة	: ثلج، مستنقعات، حشائش قصيرة	0,08 إلى 0,12
قليلة الوعورة	: حقول، مراعي، زراعة	0,13 إلى 0,16
وعرة	: غابات، مناطق قليلة السكان	0,20 إلى 0,23
شديدة الوعورة	: - - -	0,25 إلى 0,40

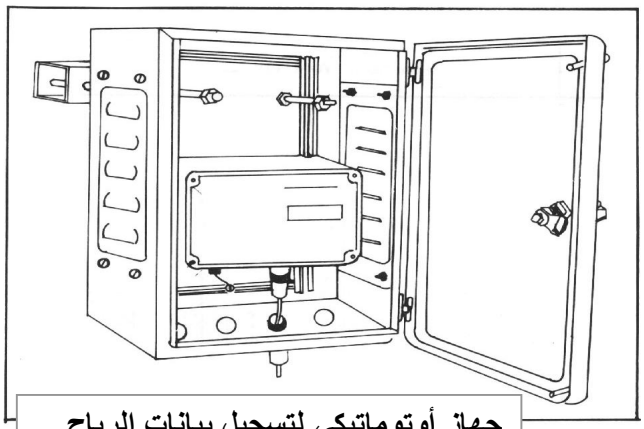
هذا يبين أن أكثر المواقع إنتاجية للرياح هي تلك قليلة أو عديمة الوعورة التي يكون فيها α ضعيفا.

- تغيرات الاتجاه:

تؤدي الاضطرابات التي تتميز بها المواقع كثيرة العوائق الطبيعية إلى تغيير المسار المنتظم لكتل الهواء. ويجب أخذ هذه التغيرات المفاجئة بعين الاعتبار لأنها تخلق العديد من المشاكل التي من شأنها أن تعترض عمل المحطة الهوائية

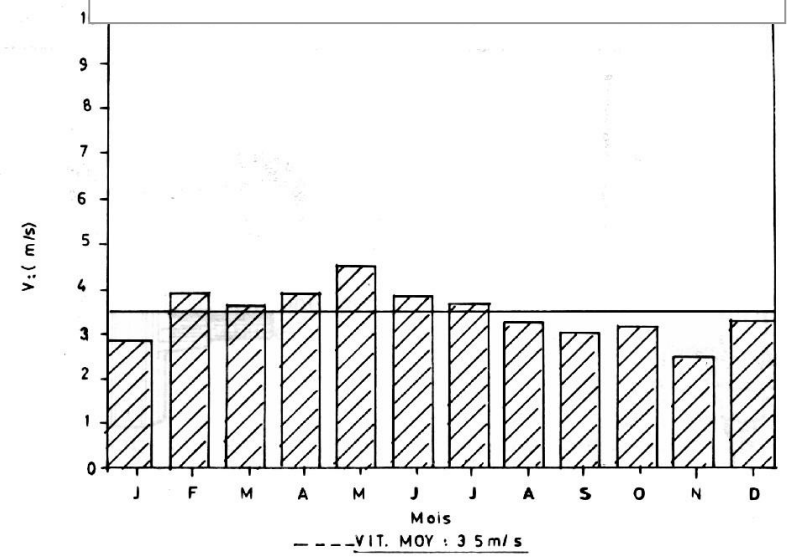
الشكل 1: أجهزة قياسات اتجاه وسرعة الرياح

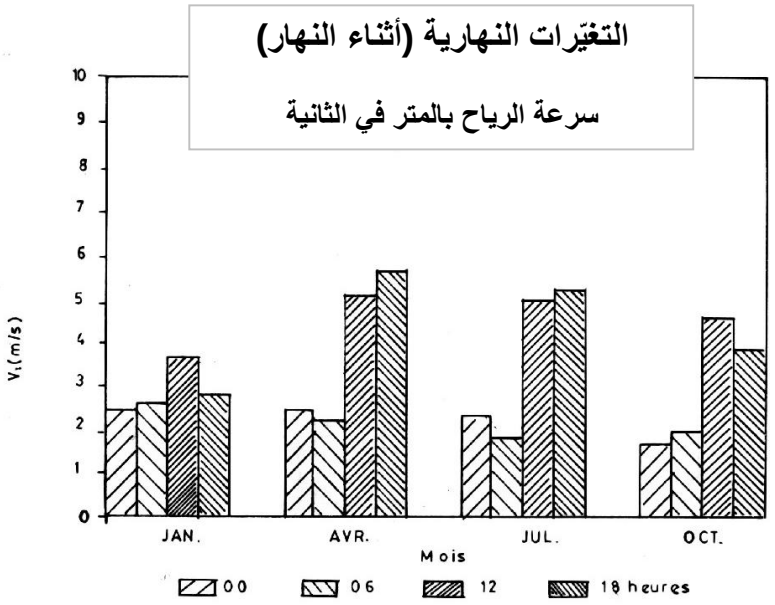




جهاز أوتوماتيكي لتسجيل بيانات الرياح

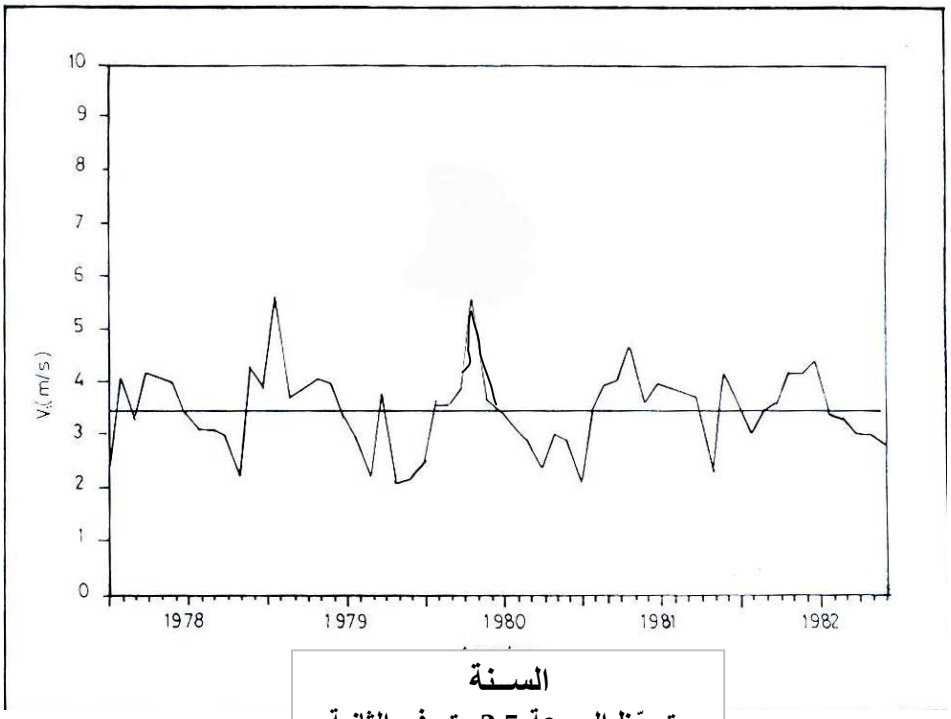
الشكل 2: معدلات التغيّرات الشهريّة





متوسط السرعة: 3,5 متر\ثانية
ساعات اليوم: 00 منتصف الليل، 6 صباحا، 12 منتصف النهار، 6 مساء

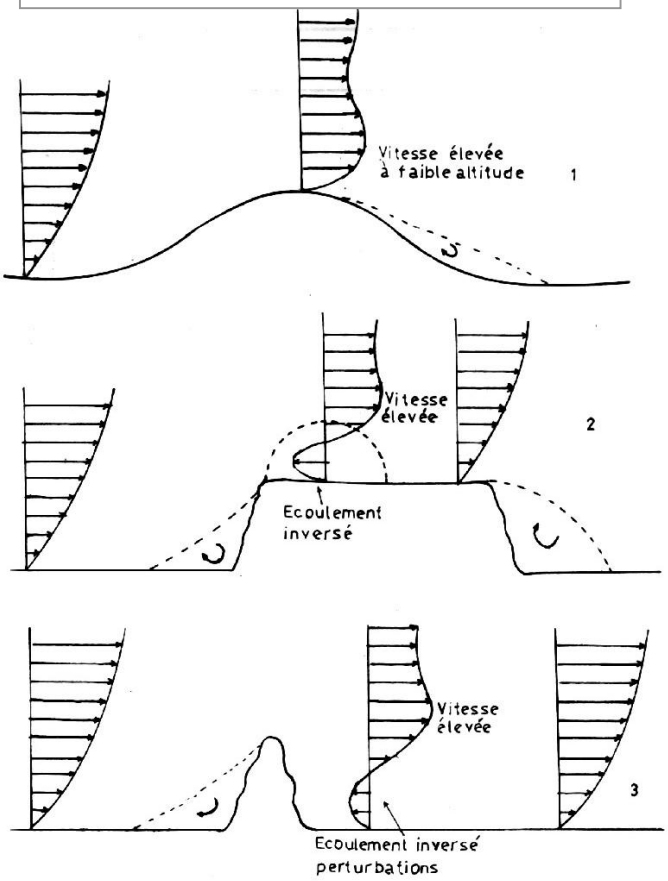
الشكل 3: التغيرات ما بين السنوات



السـنة

متوسّط السرعة 3.5 متر في الثانية

الشكل 4: التغيرات حسب الارتفاع



* 1 سرعة عالية على ارتفاع منخفض
* 2 سرعة عالية *حركة تنازلية معاكسة للريح
* 3 سرعة عالية *حركة تنازلية معاكسة، اضطرابات

(كل منحى يمثل الاتجاه والقيمة والسرعة عند الارتفاع المراد قياسه)

1. تل ذو منحدر سهل وقمة ضعيفة الانحراف: موقع مناسب جدا، نسبة تزايد السرعة يمكن أن تصل إلى 20%.
2. تل ذو انحدارات سريعة أو قمة جرف: موقع جدير بأن يحطم الآلات في وقت وجيز - يجب تفاديه.
3. رأس جبل حجري، شجرة، بناية، منزل.... يجب تفادي إنشاء المحطات على مقربة مباشرة من هذه الأماكن نظرا لوجود اضطرابات في محاذاة الريح أو تحتها.

3- توزيع مقدار التردد (الشكل 5):

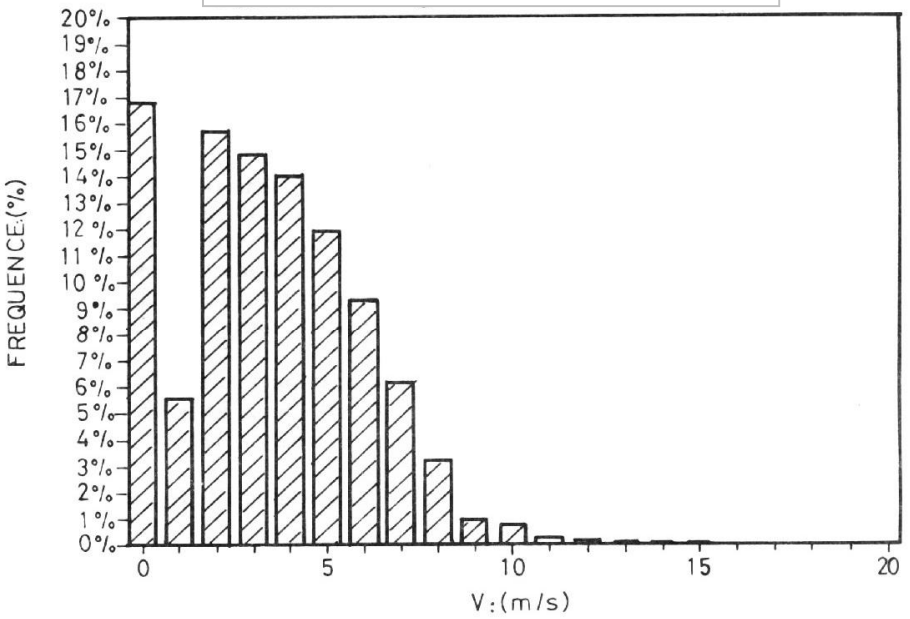
يتجلى الجانب الأكثر تعقيدا، ولكن أيضا الأكثر أهمية، عند تحليل المعطيات الخاصة بالرياح في تجميع وتمييز توزيعات مقدار تردد الرياح على موقع ما. فتحديد قيمة الطاقة المتوفرة في موقع ما تفرض معرفة مفصلة ودقيقة للمعطيات الخاصة بالرياح وقيم تغيراتها على طول الوقت.

لنفرض مثلا أن سرعة الرياح بموقع ما تصل إلى 5 م/ث طوال اليوم، وفي موقع آخر تكون 10 م/ث خلال نصف يوم فقط ثم 0 م/ث خلال النصف الآخر من اليوم. فمتوسط السرعة لدينا في كلا الحالتين هو 5 م/ث، ولكننا سوف نحصل على طاقة أكثر في الموقع الثاني.

وعليه، فإن متوسط السرعة وحده لا يكفي لتقييم نسبة الطاقة الهوائية المتوفرة.

لكي نمثل توزيع مقدار التردد في شكل جدول، يجب علينا أولا أن نقسّم المجال الكلي لسرعات الرياح على عدد محدد من الفواصل. ثم نقوم بتوزيع القيم المسجلة على الفواصل، ثم نقوم بحساب التترددات. يمكن توضيح النتيجة حينها في شكل رسم بياني. نقوم عادة باختيار فواصل متمركزة على العدد الإجمالي، أي أن "مراكز" الفواصل تكون على 1 م/ث، 2 م/ث، الخ. ونحدد أيضا بشكل اعتيادي فاصلا "هادئا" حين تكون قيمته 0 م/ث.

الشكل 5: رسم بياني لتردد الرياح



4- معايير تحديد موقع إنتاج الطاقة الهوائية

يلعب اختيار الموقع دورا هاما بالنسبة لكافة أنواع المولدات الهوائية، غير أن معايير الاختيار تختلف بحسب نوعية الآلة المستخدمة، سواء كانت محركا بمروحة متعددة الشفرات أو مولدا هوائيا بطاقة كبيرة أو صغيرة.

a. بالنسبة للآلات الكبيرة (طاقة أكبر من 50 كيلواط)، تبقى المعايير الأساسية هي: سرعة الريح أو الطاقة المتوفرة في الموقع، نوعية الاستعمالات والمتمثلة عادة في إنتاج الكهرباء على صعيد واسع، ونقلها، إضافة لتكلفة الكيلواط/ساعة المنتجة والتي يجب أن تكون منافسة لباقي مصادر الطاقة الأخرى. لذلك من الضروري توفير إنتاج كمية كبيرة من الطاقة.

b. أما بالنسبة للآلات ذات الإنتاج الصغير (أقل من 10 كيلواط)، فيبقى عدد المواقع المناسبة لها محدودا لأنه إضافة لبعض المعايير المذكورة أعلاه، وجب مراعاة قرب الآلة من المستخدم؛ وهنا يظهر عائق الاضطرابات الناجمة عن وجود المساكن، والنباتات، أو محدودية الأرض الصالحة للمشروع.

وسنتطرق هنا إلى المعايير الخاصة باختيار الموقع المناسب لتنصيب الآلات الصغيرة.

4. 1. اتجاه الرياح المتوفر (انظر "اتجاه الرياح")

من الضروري أن يُشرع في تقييم الطاقة الممكن إنتاجها في موقع إنشاء المحطة قبل الشروع في إنجاز أي عمل آخر. فعلى المستخدم التأكد من أنه سوف يُنتج الطاقة التي يحتاجها وبأن استثماره لن يفوق ما سوف يتلقاه من تلك الخدمة.

4. 2. العوائق المحيطة بالمحطة:

بعد التأكد من نجاعة حل الطاقة الهوائية، يجب الشروع في اختيار المكان المناسب لإنشاء المحطة والتي يجب أن تكون في منأى عن الحواجز المحتملة، كالبنايات والغابات... وعلى الخصوص باتجاه الرياح الدائمة. ويمكن أن تكون هذه الحواجز طبيعية أو اصطناعية (أشجار، أجمة، أجراف، ركام صخري، منازل...). وكلما كان ذلك ممكنا، يجب دائما نصب الآلات في مكان أعلى من الحواجز لاستقبال الرياح الدائمة، وإذا تعذر ذلك نصبها على مسافة تتفاوت حسب شكل الحاجز:

- برج أو قائم أسطواني الشكل: 10 أضعاف القطر.
- سور أو منزل : 10 أضعاف الارتفاع.
- الأشجار : 6 أضعاف الارتفاع.

وفي الحالة الاستثنائية لوجود محركين هوائيين تحت تأثير بعضهما البعض:

- الحد الأدنى : 6 أضعاف قطر المروحة.
- الحد الأقصى : 12 ضعفا قطر المروحة.

وهناك أيضا معيار بنفس أهمية الذي سبقه يتعلق بالحوادث في الموقع الناتجة في جوار المولد الهوائي.

فالمنحدرات التي تفوق 45 درجة والأجراف تُنتج اضطرابات تؤثر على تدفق خيوط الهواء فتتسبب في تدمير الآلة بعد وقت قصير من استعمالها. هذه الاضطرابات تولد تغيرات كبيرة في سرعة الهواء فتسبب ضغوطا غير متناسقة على المولد الهوائي. إضافة إلى أن تغير اتجاه الرياح يعيق توجيه الآلة التي تُسلَّط عليها رياح جانبية متفاوتة السرعة تشكل ضغطا على كافة أجزاء الآلة (المزدوجات المدوارية couples gyroscopiques). ومع الوقت، تظهر آثار هذه الضغوط المتقلبة في شكل ارتجاجات مدمرة قصيرة الأمد.

4. 3. العوامل المناسبة:

- أدنى قدر من النباتات.
- نوعية تضاريس مناسبة لزيادة سرعة خيوط الهواء: تل قليل الانحدار، انفراج ضيق لواد.
- طبيعة الأرض بالنسبة لتثبيت عامود المحرك الهوائي. يُفَضَّل المسند المشدود القابل للثني عوض العامود الحامل، وذلك للأسباب التالية:

- تكلفة إنشاءه، على علو مماثل، أقل من تكلفة العامود الحامل.
- إمكانية القيام بصيانة المولد الهوائي على الأرض مهمة جدا لإبعاد احتمال التعرض لحادث أثناء الإصلاحات. ويفضل أن تكون الأرضية صخرية لتنصيب العامود لأن التثبيتات سوف تكون بواسطة قضبان حديدية مرنة مثبتة في ثقوب.

- وسائل وصول الشاحنة المستعملة لنقل مختلف عناصر العامود والمولد الهوائي، ومعهما كافة معدات البناء إذا كنا سنحتاج إلى أشغال تثبيت كبيرة.
- مراعاة القرب من أجهزة استهلاك الطاقة أو تخزينها. فكلما كانت التوصيلات قصيرة، كلما قلت الخسائر الناجمة عن كثرة الارتباطات في الأسلاك.

ويمكن قياس انهيار الجهد ببساطة ΔU :

$$\Delta U = n^* (R^*I) \quad \text{حيث} \quad R = \rho\, l/s$$

l :طول السلك ما بين المولد الهوائي وأجهزة الاستعمال بالمتر.
s :مقطع السلك بالمتر المربع.
ρ :مقاومية المادة المستعملة.
النحاس: $1{,}8\ 10\text{-}8\ \Omega$، متر
الألمنيوم: $2{,}7\ 10\text{-}8\ \Omega$ ، متر
I :شدة التيار المبدئية بالأمبير.
n :عدد الموصلات حسب نوعيتها، أحادية أو من ثلاث مراحل.

يفضل اختيار مواقع توفر أكبر قدر من الطاقة دون التسبب في مشاكل تقنية عويصة بالنسبة للآلات ذات الإنتاجية الصغيرة، وهي تلك الأماكن التي تهب فيها الرياح بشكل منتظم وبسرعات متوسطة تفوق 4 م/ث.

معايير اختيار الوقع المناسب

<u>المخزون من الطاقة الهوائية:</u>
- السرعة
- الاتجاه
- مقدار التردد

<u>العوائق المحيطة بالمكان الواجب تفاديها:</u>
- العوائق الطبيعية أو الاصطناعية المحيطة
- التضاريس
- النباتات

<u>العناصر الملائمة:</u>
- التضاريس
- طبيعة الأرض
- سهولة الوصول إلى الموقع

- قرب المحطة من أجهزة الاستخدام
- علو مسند الآلة

الجــزء الثاني

محرك هوائي ميكانيكي أو بمروحة متعددة الشفرات

1. مبادئ عامة وتطبيقات

نجد في الشكل 1 تخطيطا لمحرك هوائي متعدد الشفرات نموذجي يستعمل في ضخ المياه. تدور المروحة (العجلة) تحت تأثير الرياح، فتدير عصا ذات حركة تعاقبية، هذه الأخيرة تدير بدورها مكبسا يوجد داخل أسطوانة مغمورة في البئر. ثم يُضخ الماء في أنبوب دافع باتجاه الخزان.

1. 1. تصميم دوارات المحركات

يعد اختيار المعايير المبدئية في إعداد المحطة الهوائية، كعدد شفرات المروحة، وشعاع الدوار، ونوع ذيل الآلة، ومعايير الانزلاق، مرحلة مهمة أثناء تصميم طريقة دوران محرك هوائي بمروحة متعددة الشفرات.

- **الطاقة، المزدوجة، والسرعة:**

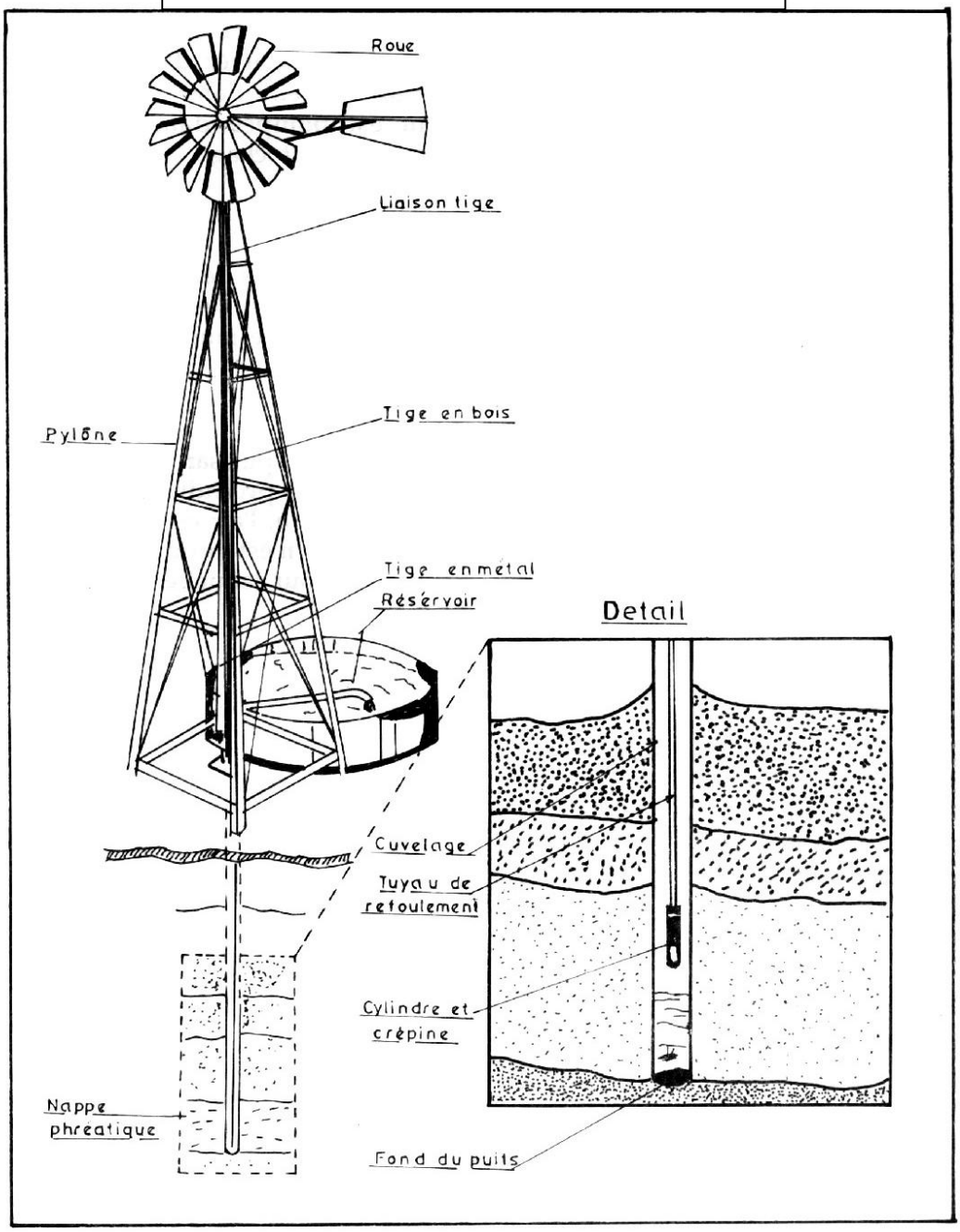
يمكن لدوار المحرك الهوائي أن ينتج قدرا بسيطا من الطاقة من الريح، بما أنه يعيق تقدم هذه الأخيرة. عند التوقف التام، لا ينتج الدوار أية طاقة، وتحت السرعات الضعيفة للدوران، تكون الريح مازالت معاقة بجسم الدوار الذي لا ينتج أيضا أية طاقة آنذاك. وتوجد هناك سرعة دوران تعد الأفضل لإنتاج أكبر قدر ممكن من الطاقة، نجدها مبينة في الشكل 2.

الشكل 1: تصميم محرك هوائي بمروحة متعددة الشفرات

عجلة	roue
عصا موصولة	liaison tige
عامود	pylône
عصا خشبية	tige en bois
عصا معدنية	tige en métal
خزان	réservoir

رسم مفصل	détail
فرشة مياه جوفية	nappe phréatique
أنبوب التبطين	cuvelage
أنبوب دافع	tuyau de refoulement
أسطوانة ومصفاة	cylindre et crépine
قعر البئر	fond du puits

الشكل 1: تصميم محرك هوائي بمروحة متعددة الشفرات



الشكل 2: الطاقة التي ينتجها دوار محرك هوائي اعتبارا لسرعة دورانه المرتبطة بسرعة محددة للريح.

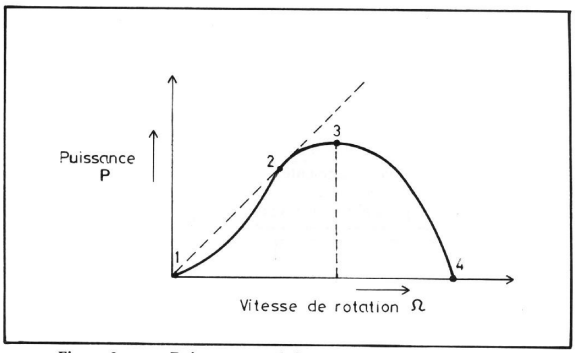


Figure 2 : **Puissance produite par un rotor d'éolienne en fonction de sa vitesse de rotation, pour une vitesse donnée du vent.**

الشكل 3: **المزدوجة الناتجة عن دوار محرك هوائي اعتبارا لسرعة دورانه**

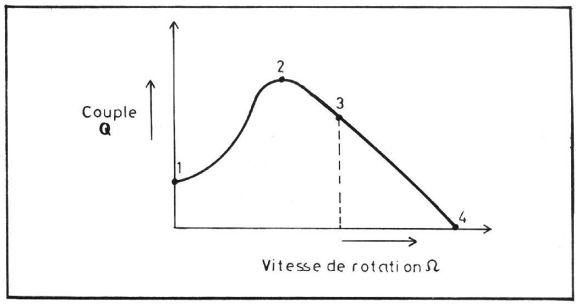


Figure 3: **Le couple produit par un rotor d'éolienne en fonction de sa vitesse de rotation pour une vitesse donnée du**

- الطاقة (ط) **P** - سرعة الدوران Ω

من المفيد جدا معرفة منحنى المزدوجة والسرعة الخاصين بدوار المحرك الهوائي، مثلا كحالة اقتران دوار بمضخة مزودة بمكبس ذات مزدوجة ثابتة. وترتبط الطاقة P(W) ، والمزدوجة Q(NM) ، وسرعة الدوران Ω (راد\ثانية) بقاعدة بسيطة:

$$P = Q * \Omega$$

وبواسطة هذه العلاقة، يمكننا استنتاج الشكل 3 انطلاقا من الشكل 2.

- المزدوجة (ز) Q - سرعة الدوران Ω

يمكننا أن نستنتج بما أن $Q=P/\Omega$ ، فإن المزدوجة تساوي مماس منحنى يعبر مصدر المنحنى P-Ω ونقطة ما منه. هذا ناتج إلى أن الحد الأقصى لمنحنى المزدوجة يمكن الوصول إليه بسرعات أقل من الحد الأقصى لمنحنى الطاقة (النقط 2 و3 في الشكلين 2 و3).

وإذا ما ازدادت سرعة الريح، فإن الطاقة والمزدوجة يزدادان أيضا، وهو ما يحتم تخطيط منحنى منفصل لكل سرعة على حدة، بالنسبة للطاقة كما بالنسبة للمزدوجة (الشكل 4).

الشكل 4: طاقة ومزدوجة دوار محرك هوائي اعتبارا لسرعة دورانه المرتبطة بسرعات مختلفة للريح.

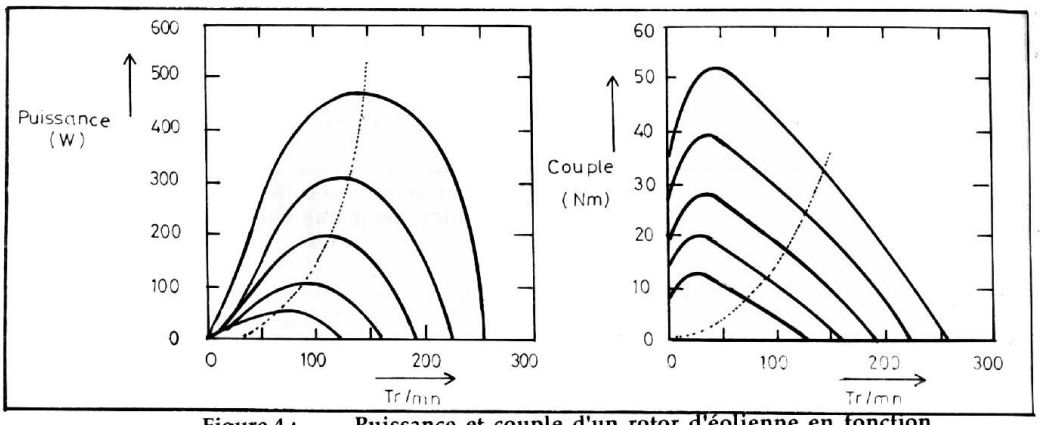


Figure 4 : **Puissance et couple d'un rotor d'éolienne en fonction de la vitesse de rotation pour différentes vitesses du vent.**

- الطاقة (واط) - دورة\ثانية
- التعشيق (ن\م)- دورة\ثانية

يصعب تحديد هذه المنحنيات لأنها تتغير بتغير سرعة الريح V ، وشعاع الدوار R ، وحتى كثافة الهواء . ويمكننا استعمال الصيغ التالية لتعريف المزدوجة والسرعة من دون تحديد للأبعاد:

معامل الطاقة $Cp = P/0.5\ \rho\ AV^3$

معامل المزدوجة $Cp = Q/0.5\ \rho\ AV^2\ R$

معيار الانزلاق $\lambda = \Omega\ R/V$

مع: سطح الدوار $A = \prod r^2$

سنحصل إذن على:

$$Cp = Cq * \lambda$$

الميزة المباشرة لهذه النتائج هي أن طريقة عمل الدوارات كيفما كانت أبعادها، وكيفما كانت سرعات الريح، يمكن تلخيصها في منحنيين اثنين: Cp-λ و Cq-λ

في الشكل 5، لدينا المنحنيين Cp و Cq النموذجيين لدوار محرك هوائي ذي مروحة متعددة الشفرات وآخر ذي مروحة ثنائية الشفرات.

الشكل 5: منحنيا الطاقة والمزدوجة بدون تحديد للأبعاد لدواري محركين هوائيين تبعا لمعايير الانزلاق.

Sur la figure 5, on a représenté les courbes Cp et Cq typiques d'un rotor d'éolienne multipale et d'un rotor d'éolienne bipale.

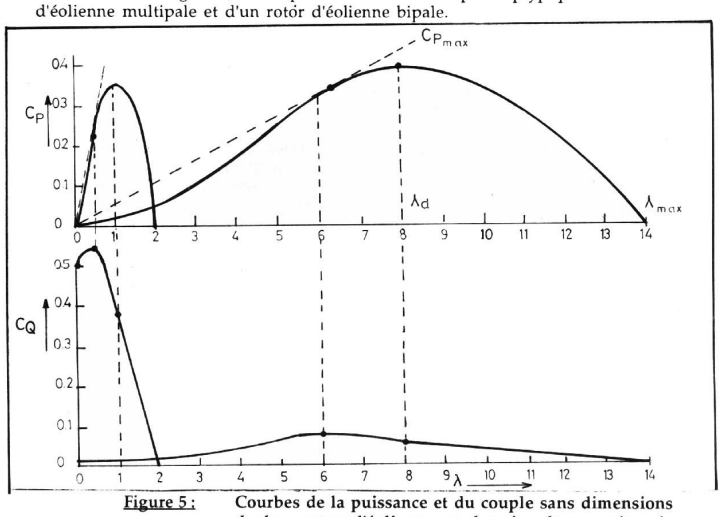


Figure 5 : Courbes de la puissance et du couple sans dimensions de deux rotors d'éoliennes en fonction du paramètre de glissement.

يبدو جليا أن هناك اختلافا كبيرا بين الدوارين الممثلين في الشكل 5: فالدوارات متعددة الشفرات تعمل تحت معايير انزلاق ضعيفة، في حين أن مثيلاتها ثنائية أو ثلاثية الشفرات تعمل تحت معايير انزلاق أكبر. ويمكننا أن نلاحظ أن معاملات الطاقة القصوى (نسمي معامل الانزلاق النظري λd) لا تختلف كثيرا، وأن اختلافا كبيرا يطرأ على مستوى المزدوجة، سواء عند انطلاق المزدوجة (حيث λ = 0) أو عند مستوى المزدوجة الأقصى.

توجد هناك صيغة تجريبية تساعد على تقدير معامل المزدوجة عند بداية دوران دوار ما تبعا لمعيار انزلاقه النظري:

معامل المزدوجة Cq عند الانطلاق = $0,5\backslash\lambda^2$

1. 2 المضخات

ما فتئت ضرورة استخراج المياه من باطن الأرض تلازم الطبيعة البشرية على مر العصور، لذلك نجد أنواعا شتى من المعدات والآلات التي تستعمل لضخ المياه. وسوف نقتصر هنا على المضخات التي تُحَرّك بواسطة دوارات محركات هوائية، مع التركيز على المضخات ذات المكبس المتناوب.

بصفة عامة، يمكننا تصنيف المضخات إلى ثلاثة أنواع، المضخات المحجامية، والمضخات الدافعة، والمضخات الأخرى، وكل واحدة تتميز بعدد من الخصائص:

1. *المضخات المحجامية:*

بمكبس غاطس
بلولب (أرخميدس)

بدواليب مسننة

بلولب لانهائي

بشفرات

بغشاء
بأطواق
بسلسلة أو بناعورة

2. *المضخات الدافعة:*

النابذة

المحورية

3. *المضخات الأخرى:*

بالهواء المضغوط

بطارد
بمكبس هيدروليكي
بسيفون

1. 3 المضخات ذات المكبس:

تتكون المضخة ذات المكبس المتناوب في الأساس من مكبس، وصمامين، وقناة للشفط، ثم قناة للدفع. أحيانا، تستعمل حجرات هواء من أجل توحيد تدفق الماء والحد من قوى الاصطدام. في المضخة ذات المكبس الاعتيادية، يوجد الصمام العلوي داخل المكبس، في حين يعرف الصمام السفلي بمصطلح صمام القاعدة (شكل 6). في الحالة التي يفترق فيها المكبس عن الصمام العلوي، نستعمل عادة مصطلح مضخة بمكبس غاطس (à plongeur) .

إن عمل المضخة ذات المكبس المتناوب بسيط من حيث المبدأ: إذا ما اتجه المكبس إلى الأسفل، ينفتح الصمام العلوي في نفس الوقت الذي ينغلق فيه صمام القاعدة؛ هذا يعني بأن التدفق منعدم وبأن المكبس يتحرك بحرية وسط الماء. وبمجرد أن يعاود المكبس الصعود، ينغلق الصمام العلوي وينفتح صمام القاعدة، فيُدفع الماء (من فوق المكبس) ويُشفط (من أسفله، إذا كانت المضخة فوق مستوى الماء) إلى أن يعاود المكبس النزول مرة أخرى. ينتج عن هذه الحركة تدفق الماء بشكل نابض تماوجي، شبيه بالتيار المتناوب حين يخضع لتأثير المُقوّم الكهربائي (الشكل 6).

ملاحظة: في هذا الجزء سوف نتطرق لرموز أحجام نستعملها للمرة الأولى. وسوف نشير إليها بالرمز V_n لتفادي اللبس مع رمز السرعة V .

1.3.1 طريقة عمل المضخات الأمثل

سوق نصف الآن طريقة عمل مضخة جيدة بسرعة ضعيفة، أي أنها تنتج سرعات ضعيفة مقارنة بتسارع الجاذبية، وقوى الاحتكاك، والقوى الديناميكية التي لم تأخذ بعين الاعتبار.
تساوي القوة المسلطة على المكبس وزن عامود الماء الذي يتحرك فوقه، أي من مستوى الماء إلى المخرج.

$$F_p = \rho_n \, g \, H \, \pi/4 * D^2$$

تُنقَل هذه القوة Fp إلى مدور الدوار في المحرك الهوائي بواسطة عصا المضخة، فتسلط مزدوجة على جذع الدوار عن طريق ذراع المدور (r) ، الذي يساوي نصف شوط المكبس (s) . ينجم عن هذه العملية اتخاذ المزدوجة لهيئة تماوجية أثناء تصاعد الشوط وينعدم أثناء نزول هذا الأخير. ومن هنا، نستنتج الصيغة التالية:

$Qp = \rho_n \, g \, H \, \pi/4 \, D_p \, 1/2 \, s \, \sin\Omega t$ حيث $0 < \Omega t <$*

$Qp = 0$ حيث $\pi < \Omega t < 2\pi$

يوفر إدماج هذه المزدوجة اللحظية في دورة كاملة:

$$1/2 \int^{\pi} \sin \Omega t \, d \, \Omega t = 1/\pi$$

وتكون الصيغة الخاصة بالمزدوجة المتوسطة:

$Q_p = 1/2$ أو $Q_p = 1/\pi \, \rho_n \, gH \, \pi/4 * D_p \, 1/2s$

$\rho_n \, gh \, V_n$

حيث V_n هو سعة الأسطوانة، سوف نلاحظ بأن متوسط المزدوجة يتوقف على السرعة.
متوسط السرعة الضروري يساوي:

$$P_p = q \, \rho_n \, gH \quad \text{أو} \quad P_p = Q_p * \Omega = \Omega/2\pi \, \rho_n \, gH \, V_n$$

حيث q تمثل متوسط الصبيب. سوف نلاحظ بأنها نفس الطاقة الصافية التي تُستعمل لدفع الماء بالمتر المكعب في الثانية ($q \, m^3/s$) على ارتفاع معين H من الأمتار.

1. 3. 2 طريقة عمل المضخات في الواقع:

المضخة الأمثل تحتاج إذن لقوة ميكانيكية تساوي القوة الصافية الضرورية لرفع الماء، أي بمردودية 100%. أما في الحقيقة، فالقوة الميكانيكية الضرورية يجب أن تكون أكبر من القوة الصافية لدفع الماء بسبب الخسارات الميكانيكية والهيدروليكية والمحجامية.
من أجل التبسيط، سوف نضيف إلى المردودية الميكانيكية الخسارات الميكانيكية الناتجة عن احتكاك المكبس والأسطوانة، والخسارات الهيدروليكية الناتجة عن الاحتكاك خصوصا في الصمامات. أما بالنسبة للمردودية المحجامية، فإنها تعرّف على أنها العلاقة بين سعة الأسطوانة الحقيقية مقسومة على السعة النظرية. وإذا ما قمنا بتحديد القوى التالية:

P méc : القوة الميكانيكية التي ينتجها الدوار
P idéale : القوة اللازمة لتشغيل المضخة الأمثل
P eau : القوة الصافية لدفع الماء عن طريق رفعه.

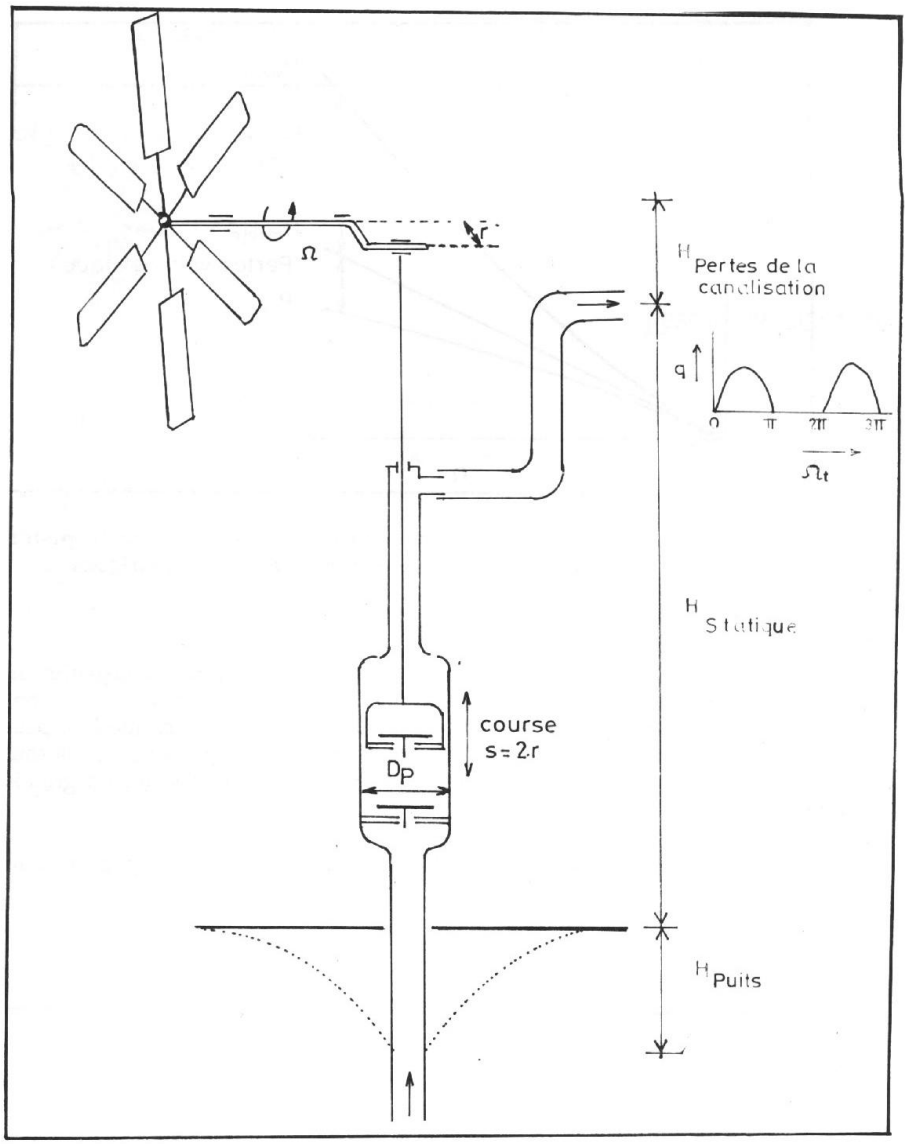
فإننا نستطيع تحديد كلا المردوديتين على النحو الآتي:
المردودية الإجمالية للمضخة تساوي:

$$P \, eau / P \, méc = \eta \, mec * \eta \, vol$$

الشكل 6: رسم تخطيطي لمضخة بمكبس متناوب مرتبطة بدوار محرك هوائي.

- الخسارات في القنوات - ثابت - البئر - شوط المكبس

Figure 6: **Dessin schématique d'une pompe à piston alternatif reliée à un rotor d'éolienne.**



يبين الشكل 7 القوى والخسارات الناتجة عن عمل المضخة:

الشكل 7: العلاقة بين القوة والسرعة لمضخة بمكبس، والتي تحدد الخسارات الميكانيكية والمحجامية.

- الخسارات الميكانيكية - الخسارات المحجامية

Les puissances et pertes entrant en jeu sont indiquées sur la figure 7 :

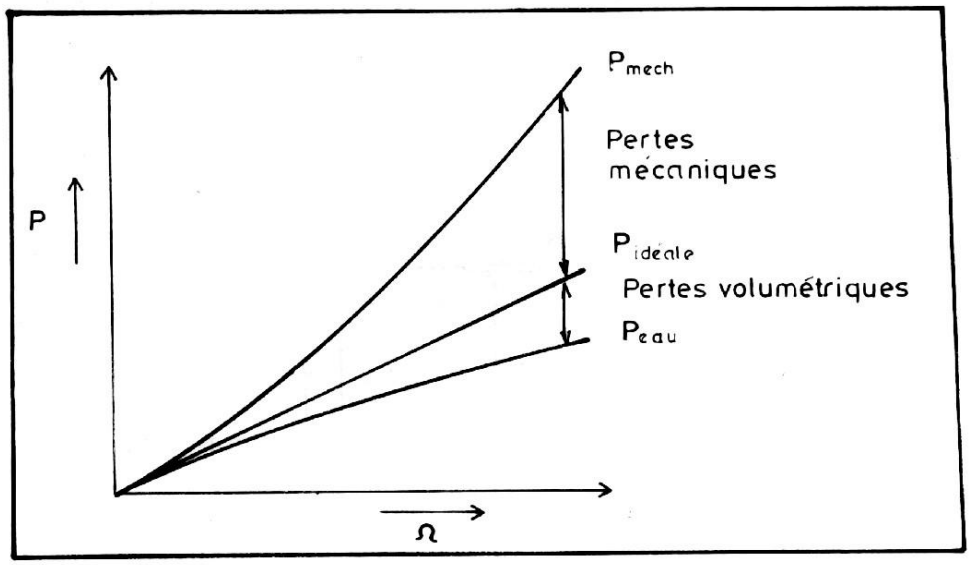


Figure 7 : **Relation puissance-vitesse d'une pompe à piston indiquant les pertes mécaniques et volumétriques**

1. 4 العامود

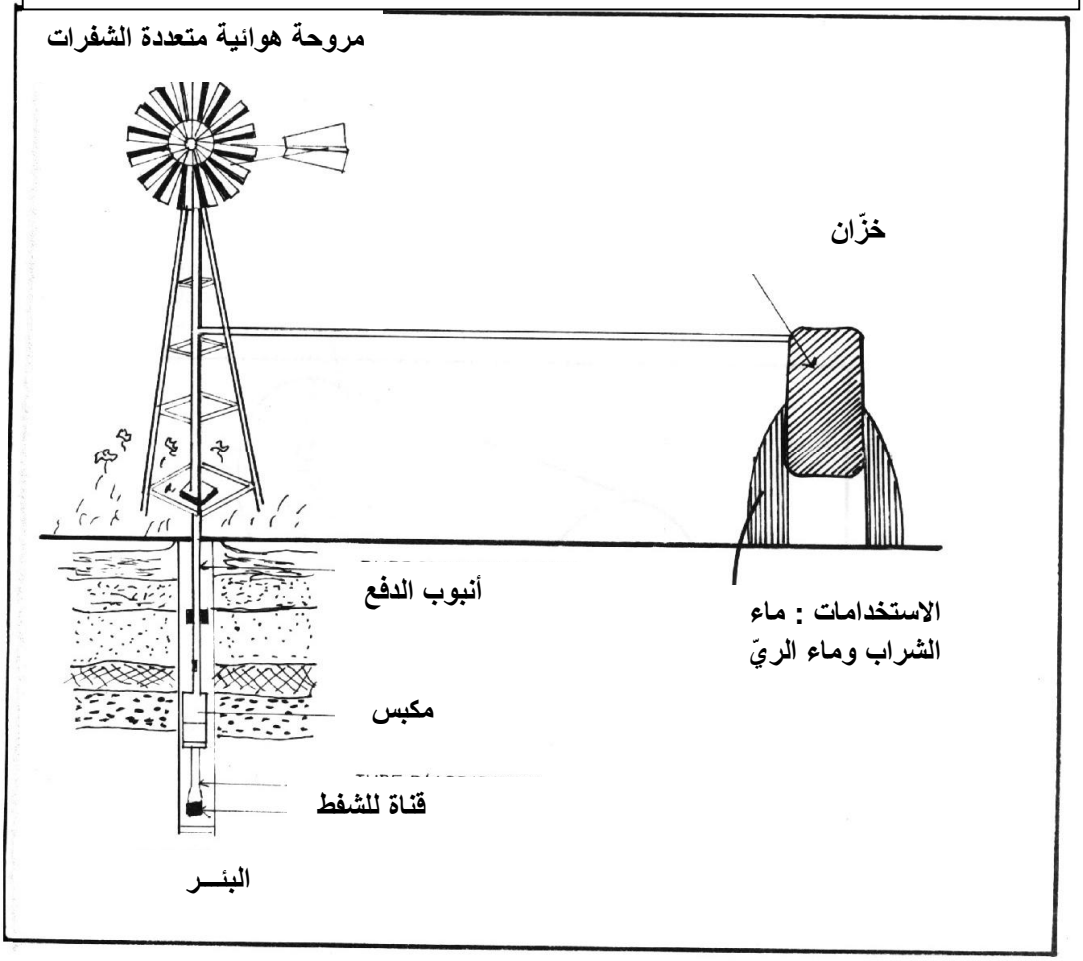
تكون المحركات الهوائية مزودة بأعمدة مصنوعة من داعمات زاوية مزنكة، مشدودة بلوالب وحلزونات. ولقد صممت بطريقة تسمح بتركيبها انطلاقا من قطع صغيرة سهلة النقل إلى أغلب المناطق البعيدة والوعرة. كما أنها تمتاز بأرجل متباعدة تسمح لها بأنه تُنصب فوق الآبار العريضة.

ويتراوح الارتفاع الاعتيادي لأعمدة المحركات الهوائية الخاصة بضخ المياه ما بين 10 و 15 مترا.

1. 5 التطبيق

الشكل 8: **الضخ الميكانيكي بواسطة محرك هوائي بمروحة متعددة الشفرات**

الشكل 8 : ضخّ مكانيكي بمروحة هوائية متعددة الشفرات



2. حساب كمية الطاقة الهوائية المتوفرة

توفر كتلة هوائية، تهب بسرعة معينة V عبر سطح A ، صبيبا كتليا M يساوي:

$$m = \rho AV \ (kg/s)$$

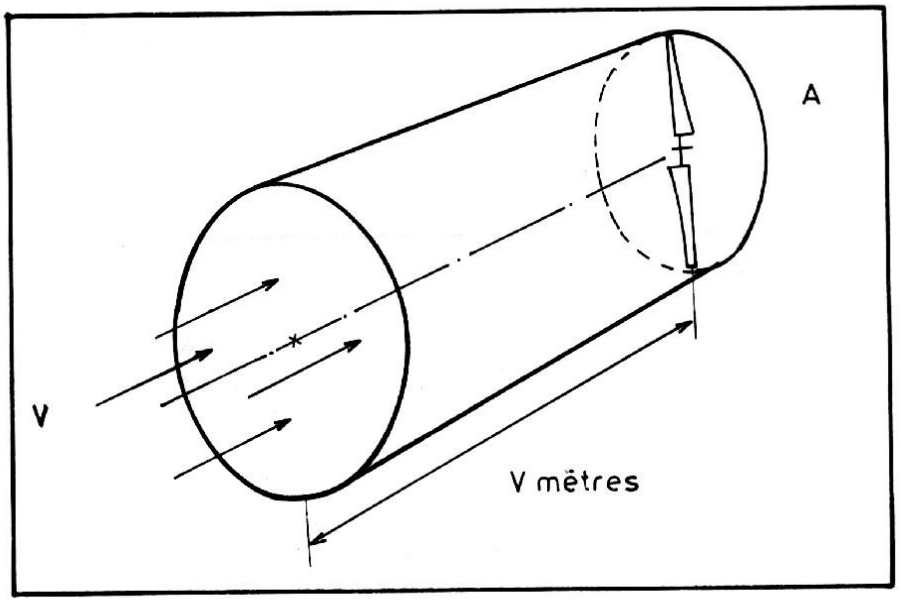
وكنتيجة له، تدفق حركي للطاقة في الثانية أو قوة حركية Pcin تساوي:

$$Pcin = 1/2 \ (\rho AV)V^2 = 1/2\rho AV^3 \ (W)$$

حيث:

ρ : الكتلة الحجمية للهواء (كلغ\متر مكعب)
A : السطح الممسوح بشفرات الدوار (متر مربع)
V : سرعة الريح غير المضطربة (متر\ثانية)

الشكل 9: خلال كل ثانية واحدة، يعبر حجم من الهواء قيمته V*A السطح A. وهو ما يمثل صبيبا كتليا يساوي ρAV (كلغ\ثانية).



الشكل 9 : توفر كتلة هوائية، تهب بسرعة معينة V عبر سطح A ، صبيبا كتليا M يساوي:

$$m = \rho AV \ (kg/s)$$

وكنتيجة له، تدفق حركي للطاقة في الثانية أو قوة حركية Pcin تساوي:

$$Pcin = 1/2 \ (\rho AV)V^2 = 1/2\rho AV^3 \ (W)$$

هذه العلاقة تعبر عن النقاط الثلاث التالية:

1. تكون قوة الريح رهينة بكثافة الجو. وهو ما يعني أنها تمتلك قوة أضعف على مستوى مرتفع معين في الجبال وإن كانت سرعتها لم تتغير.
2. تكون قوة الريح رهينة بالسطح الممسوح بشفرات الدوار أو رهينة بمربع قطر هذا الأخير.
3. تكون قوة الريح رهينة بمكعب سرعتها، وهو ما يشجع على اختيار موقع مناسب لطاحونة هواء بكل عناية: فزيادة 10% من سرعة الريح تترجم إلى زيادة 30% من القوة.

يستطيع دوار المحرك الهوائي أن ينتج الطاقة من الريح لأنه يعيق حركة هذه الأخيرة: فسرعة الريح خلف الدوار أقل من سرعتها أمامه. ويتسبب نقصان السرعة في تدفق الهواء حول سطح الدوار عوض أن يمر عبره. ويبلغ استخلاص الطاقة ذروته حين تكون سرعة الريح في مخر الدوار(أثر الريح خلفه) تساوي ربع سرعة الريح غير المضطرب $V\infty$. وفي هذا الحالة، ينتج الدوار بنفسه سرعة تساوي 3\2 سرعة $V\infty$ ، بحيث يكون الصبيب الكتلي الفعلي يساوي فقط $\rho \ A \ 2/3 \ V\infty$. وإذا ما انخفض هذا الصبيب الكتلي من $V\infty$ إلى 3\1 سرعة $V\infty$ ، فإن الطاقة المنتجة تعادل:

$$Pmax = 1/2\ (\rho\ A\ 2/3\ V\infty)\ V^2 - 1/2\ (\rho\ A\ 2/3\ V\infty)\ (1/3\ V\infty)^2$$

$$Pmax = 16/27\ (1/2\ \rho\ AV^3\infty) \quad \text{أو}$$

وبعبارة أخرى، يساوي الكسر الأقصى النظري للطاقة المنتَجة 16\27، أي 59,3%.
ويسمى هذا بحد بيتز الأقصى.

ونادرا ما يتجاوز سطح الطاقة المنتَجة، الذي يمكن أن نشير إليه بمصطلح معامل الطاقة Cp ، في الواقع 40% عندما تُقاس على أنها طاقة ميكانيكية لدوار حقيقي في محرك هوائي. ويؤدي التحول لاحقا إلى الطاقة الكهربائية أو طاقة الضخ إلى انخفاض الطاقة المتوفرة، بحسب مردودية نقل الحركة والمضخة أو المولد. وهناك أيضا نقص الطاقة المتوفرة الناجم عن تقلبات السرعة والاتجاه التي تتعرض لها طاحونة هواء حقيقية على أرض الواقع.

بالنسبة لطاحونة هواء تستعمل لضخ المياه، تؤدي هذه التأثيرات إلى القاعدة التالية، فيما يتعلق بتقدير أولي للطاقة الخارجة الفعلية ("من الريح إلى الماء"): في موضع يكون فيه متوسط سرعة الريح هو V :

$$P\ eau = 0,1\ AV^3\ (W)$$

يمكننا استعمال هذه القاعدة لتقدير الطاقة الخارجة الشهرية أو السنوية، المستخلصة من سرعة ريح شهرية أو سنوية معينة. ويمكن استخراج القوة الصافية من أجل رفع كمية معينة من الماء بالمتر المكعب في الثانية (q m3) على ارتفاع معين من الأمتار h ، بالطريقة التالية:

$$P = q\ \rho\ gH\ (W)$$

$$g = 9.8\ m/s2 \qquad \rho = 1kg/m^3 \qquad \text{أو}$$

وعلى سبيل المثال، نقدر صبيب طاحونة هواء بقطر 5 أمتار في موقع تكون فيه سرعة الريح 3 أمتار في الثانية (V=3m/s) ، على علو 5 أمتار بـ: 1,1 لتر\ثانية.

ملاحظة: يجب التأكيد على أن هذه القيم ليست سوى تقديرات تقريبية. وبمجرد الحصول على معطيات أكثر عن طاحونة الهواء وطبيعة الرياح بالمنطقة، يمكن آنذاك القيام بتقديرات أكثر دقة.

3. تحديد أبعاد المنشئات

فيما يلي الأسئلة البديهية التي يجب أن تطرح عند استعمال بعض أنواع المحركات الهوائية:

- ما هي كمية الماء التي سوف يضخها؟
- ما حجم المضخة التي يجب اختيارها؟
- كيف يجب ضبط شوط المحرك الهوائي؟

1) مردودية البئر:

تزداد نسبة الطاقة التي ينتجها المحرك الهوائي بازدياد سرعة الريح ما بين السرعة الدنيا الضرورية لانطلاق مزدوجة التشغيل والسرعة التي يكون فوقها الصبيب قارا. وبطبيعة الحال، لا تتغير نسبة ضخ الماء تبعا لسرعة الريح. كما أن طاقة ضخ المحرك الهوائي يجب أن تكون أضعف من مردودية المنبع (بئر عميقة مثلا) الذي يُضخ منه الماء. أما إذا كان العكس، فسوف ينتج عن ذلك ضخ للهواء عوض الماء لفترات طويلة. وبدون مرور الماء في المضخة، تتقادم وصلات مكبس هذه الأخيرة بسرعة.

وعليه، يجب أن يكون حجم المحرك الهوائي مناسبا للبئر. وهو في الغالب ما يؤثر أيضا على طريقة اختيار المضخة. فمثلا، إذا كان المحرك الهوائي قد أُعِد لتزويد قرية ما بحاجياتها من الماء، وكانت هذه الحاجيات تتطلب 4 ساعات من الضخ يوميا، فمن الضروري أن تكون مردودية البئر كافية لضخ من هذا القبيل. أما إذا كان من الممكن تحقيق ضخ يومي بمعدل 8 ساعات، فإن بئرا بمردودية أقل يمكن أن تكفي.

2) الحاجيات من الماء:

من أجل قياس الحجم المناسب للمحرك الهوائي، يجب التوفر على المعطيات الخاصة بالحاجيات من الماء، بما في ذلك التغيرات اليومية والأسبوعية والشهرية لهذه الحاجيات. وأثناء جمع المعطيات الخاصة بالاستهلاك الحقيقي للماء قبل إنشاء نظام التزويد بالماء، يجب الأخذ بعين الاعتبار أن استعمال الماء عادة ما يرتفع عندما يتوفر هناك مصدر دائم للماء.

أما في حالة السقي، فإن الطلب على الماء يعتمد على نوعية الزراعة وطبيعة الأرض وكذلك على المعطيات المناخية كالقياسات المطرية ونسبة التبخر.

3) طريقة بسيطة لحساب القوة المُنتَجة:

تسمح المعادلة التجريبية التالية المستمدة من صيغة بيتز بحساب المعدل اليومي والشهري والسنوي للقوة الهيدروليكية المنتَجة، تبعا لمعدل سرعة الريح:

$$P_h = 0,1 * S * V^3$$

حيث:
P_h = معدل القوة الهيدروليكية المنتَجة (بالواط)
S = السطح الممسوح بواسطة مروحة المحرك الهوائي (بالمتر)
V = معدل سرعة الريح (م/ث)

يأخذ المعامل 0,1 بعين الاعتبار مردودية كل من مروحة المحرك الهوائي، ونقل الحركة، والمضخة، وكذلك القيمة البيانية لكثافة الهواء على مستوى البحر. كما يأخذ بعين الاعتبار القيمة التقديرية الممكن تحصيلها كيفما كانت سرعة الرياح انطلاقا من متوسط سرعتها. وتكون هذه الصيغة مفيدة بالنسبة للحسابات التمهيدية، غير أنه يمكن تحسينها من دون إجراء تعديلات كبيرة على الصيغ.

وباستعمال متوسط القوة المتوفرة في الريح والمردودية الإجمالية للنظام، يمكننا إنشاء مقاربة أفضل:

$$P_h = n\ S\ P_v$$

حيث:
P_v = متوسط قوة الريح المتوفرة (واط/متر مربع)

n = المردودية الإجمالية للنظام

تكون قيم n عادة محدودة ما بين 0,04 و 0,08؛ وتأخذ بعين الاعتبار مردودية المروحة، وعناصر نقل الحركة، والمضخة، والخسارات الناتجة عن اقتران المروحة والمضخة. وسوف نستعمل في هذه الحالة قيمة متوسطة بنسبة 0,06.

يمكن تحديد نسبة صبيب الماء انطلاقا من القوة الهيدروليكية المتوفرة والارتفاع المانومتري:

$$q = P_h / gH$$

حيث:
q = متوسط صبيب الماء (لتر\ثانية)
g = تسارع الجاذبية (9,8 متر\ثانية2)
H = الارتفاع المانومتري الإجمالي (متر)

يحدد الصبيب الإجمالي ليوم واحد أو أسبوع أو شهر بمضاعفة القيمة السابقة في الفاصل الزمني المناسب:

$$Q = q\ 3600\ T / 1000$$

حيث:
Q = متوسط الصبيب (أثناء الفترة) (متر مكعب)
T = الفترة الزمنية (ساعات)

إذا ما وفقنا بين المعادلات السابقة من أجل التبسيط، آخذين 0,06 كمتوسط المردودية الإجمالي، فسوف نحصل على المعادلة التالية لمعدل الصبيب اليومي:

$$Q = 0,42 * D^2 * P_v/h$$

مثال:

لنعتبر محركا هوائيا للضخ بقطر 4,3 متر، مشيد على بئر بعلو مانومتري بطول 50 مترا، في منظومة هوائية تقدر بـ 100 واط\متر مربع. وعلينا أن نحدد معدل الصبيب اليومي.

$$Q = 0,42\ (4,3)^2\ 100/50$$
$$= 15,5 \text{ متر كعب}$$

وبالنسبة لعلو مانومتري بطول 25 مترا، فإن النتيجة سوف تكون بالطبع الضعف، ولكن بقطر 4,9 متر، حيث سوف يقوم المحرك الهوائي بضخ صبيب يساوي 20 مترا مكعبا.

وبالعكس، يمكن استعمال هذه الطريقة لحساب القطر الضروري إذا ما كان لدينا المعطيات الخاصة بالحاجيات من الماء والعلو المانومتري والقوة المتوفرة.

$$D = (2,4\ Q\ H / P_v)^{½}$$

مثال:

يجب تشييد محرك هوائي فوق بئر بعلو مانومتري بطول 50 مترا؛ الحاجيات من الماء تقدر بـ 10 أمتار مكعبة في اليوم. فما هو قطر المحرك الهوائي المناسب للاستعمال؟

يقدر معدل القوة السنوي بـ 74 واطامتر مربع على علو 10 أمتار. نحصل باستعمالنا لهذه القيمة كتقريب أولي على:

$$D = (2,4 * 10 * 50 / 74)$$
$$= 4,0 \text{ متر}$$

غير أننا نستطيع أن نلاحظ من خلال دراسة دقيقة لهذه المعطيات بأنه من بين أشهر السنة، يبقى شهر نوفمبر الأقل إنتاجا للطاقة، بنسبة 42 واطامتر مربع. وإذا استعملنا هذا الرقم، فسوف نحصل على قطر من 5,3 أمتار. غير أنه باستعمال عامود بارتفاع 20 مترا، تزداد القوة المتوفرة في شهر نوفمبر إلى 73 واطامتر مربع، ويكون قطر من 4,0 أمتار كاف.

هذه الطريقة لا تصلح إلا لحسابات تقريبية فقط. ففي الحقيقة، تبقى قيمة 0,06 بالنسبة للمردودية الإجمالية للأسف مجرد قيمة تقريبية. إذ أنها تتغير بحسب المنظومة الهوائية وشكل وأبعاد الآلة المستعملة، وكذلك حسب تشكيلة المروحة والمضخة المستعملة. وينطبق هذا المعامل بشكل أفضل في فاصل سرعات الريح ما بين 3 و 5 أمتار\ثانية.

4) طريقة مفصلة لحساب القوة المُنتَجة:

هناك طريقة أعدت بشكل أكثر تفصيلا، وهي قائمة على المنحنى الحقيقي للضخ (حصل عليها انطلاقا من قيم المحرك الهوائي) وعلى الرسم البياني لمقدار تردد الهواء. ومن اللازم معرفة تفاصيل النظام وطبيعة الاستعمال (حجم الأسطوانة، قطر المروحة، مردودية المضخة، العلو المانومتري، الخ...).

الإنتاج اليومي من الطاقة لمحرك هوائي بمروحة متعددة الشفرات:

صبيب يومي (بالأمتار المكعبة)

قطر الدوار = 2,44 متر
أداء التروس المسننة = 3,33
شوط = 19,05 سم

سرعة البداية = 6,7 م\ث
سرعة التوقف = 15 م\ث
كثافة الهواء = 1,225 كلغ\متر مكعب

العلو المانومتري الإجمالي= 20 مترا

معدل سرعة الريح (م\ث)	قطر الأسطوانة (بوصة)							
	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75
3	3,9	4,0	4,5	4,3	4,6	4,0	3,3	3,2
3,5	5,3	5,9	6,8	6,9	7,6	7,2	6,6	6,8
4	6,6	7,5	8,8	9,4	10,4	10,5	10,2	10,7
4,5	7,6	8,9	10,5	11,5	13,0	13,5	13,6	14,5
5	8,5	10,1	12,0	13,4	15,1	16,1	16,6	17,9
5,5	9,3	11,1	13,2	14,9	16,9	18,2	19,2	20,8
6	9,8	11,8	14,1	16,1	18,3	20,0	21,2	23,1
6,5	10,2	12,4	14,8	16,9	19,4	21,3	22,8	24,9
7	10,5	12,7	15,2	17,5	20,1	22,2	24,0	26,2

العلو المانومتري الإجمالي= 40 مترا

معدل سرعة الريح (م\ث)	قطر الأسطوانة (بوصة)							
	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75
3	2,1	1,9	1,6	1,6	0,8	0,5	0,3	0,2
3,5	3,5	3,5	3,3	2,8	2,2	1,7	1,2	0,8
4	4,8	5,1	5,1	4,8	4,2	3,6	2,8	2,2
4,5	6,0	6,6	6,8	6,8	6,4	5,8	4,9	4,1
5	7,0	7,8	8,4	8,6	8,4	8,0	7,2	6,3
5,5	7,8	8,9	9,7	10,2	10,3	10,0	9,4	8,5
6	8,4	9,7	10,7	11,5	11,8	11,7	11,3	10,5
6,5	8,9	10,3	11,6	12,5	13,0	13,2	12,9	12,3
7	9,2	10,8	12,1	13,2	13,9	14,3	14,1	13,6

العلو المانومتري الإجمالي= 60 مترا

معدل سرعة الريح (م\ث)	قطر الأسطوانة (بوصة)							
	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75
3	1,0	0,8	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0
3,5	2,1	1,8	1,4	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1
4	3,3	3,2	2,8	2,3	1,5	1,0	0,7	0,4
4,5	4,4	4,5	4,2	3,8	2,7	2,1	1,5	1,0
5	5,4	5,7	5,6	5,3	4,2	3,5	2,7	1,9
5,5	6,3	6,8	6,9	6,7	5,7	4,9	4,0	3,1
6	7,0	7,7	8,0	7,9	7,0	6,3	5,3	4,2
6,5	7,5	8,3	8,8	8,9	8,2	7,5	6,5	5,3
7	7,9	8,8	9,5	9,7	9,1	8,5	7,5	6,2

4. صيانة وإصلاح المحركات الهوائية متعددة الشفرات:

تتشكل عملية الصيانة السنوية العادية لمحركات الهواء متعددة الشفرات من المراحل التالية:

الفحص الشامل للآلة بالعين

التزييت والتشحيم

فحص نظام الضخ

الإصلاحات البسيطة

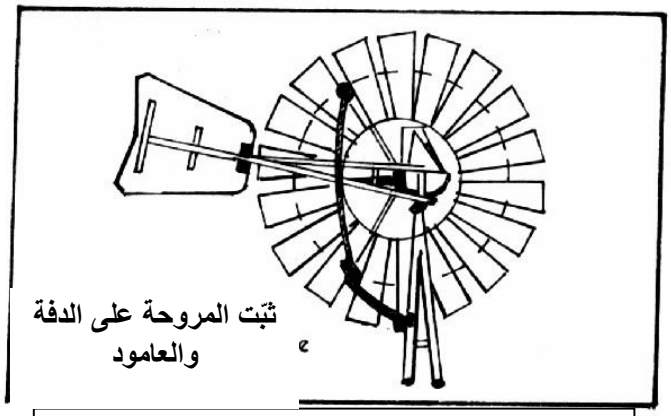
(وفيما يخص المعدات الضرورية للفحص والصيانة، انظر اللائحة المرفقة).

أ) الفحص الشامل للآلة بالعين:

- **العامود:**

(ملاحظة: الاحتياط من وجود خلايا النحل أو الزنابير في العامود، وإزالتها عند الضرورة).

- التأكد من أنه لا تنقص أية قطعة في العامود والسلم (هل توجد هناك قطع ناقصة أو ملوية؟).
- التأكد من أن الحلزونات مثبتة جيدا.
- فحص جهاز الكبح اليدوي. (انظر الشكل 2)
- التأكد من حالة عصا المضخة وحلقات تثبيتها.
- إذا كانت هناك أرضية عمل، التأكد من حالتها (متانتها، تسربات الزيت...).
- التأكد من الشاقولية العامود وأفقية الرأس (فادن ومسواة).



الشكل 1 : تثبيت المروحة على الدفة والعامود

- تثبيت المروحة على الدفة والعامود

 المروحة:

ملاحظة: إذا كان المكبح اليدوي (انظر الشكل 2) لا يعمل ولا يمكن إصلاحه، فيجب ربط المروحة إلى العامود والدفة (الشكل 1) قبل الشروع في فحص المروحة وآلية نقل الحركة.

- هل تدور بليونة؟
- التأكد من تثبيت المروحة على القب (ثقب وسط الدولاب).
- التأكد من تثبيت الدسارات وكافة حلزونات المروحة (القب، الشفرات...)

نقل الحركة:

- فحص كارتر الحماية (هل تشوه، هل به ثقوب؟) وحالة وصلة المساكة.
- إزاحة الكارتر وفحص مستوى زيت مضاعف السرعة ونقائها.
- كشف وجود مخلفات الطمي والنجارة...
- فحص حالة التروس المسننة
- فحص تخلخل المَدْرجات وتقادمها

نظام الكبح \ تقويم المروحة (انظر الشكل 3)

- فحص كافة آليات تقويم المروحة والكبح (هل توجد هناك قطع ناقصة؟)

ب) **<u>التزييت والتشحيم:</u>**

الأدوات والمعدات الضرورية: حزام السلامة، كيس لوضع المعدات، حبال، دلو، مفاتيح ربط متعدلة، ملقط مِلزم، مبراغ، فرشاة لتنظيف الشموع، 3 لترات من الزيت غير المطهِر (10 واط)، كيروسين أو زيت الوقود، شحام.

تفريغ مضاعف السرعة:

- وضع حزام السلامة وكيس المعدات.
- ربط الحبل بالحزام ثم صعود البرج.
- تثبيت الدوار بالحبل إذا لزم الأمر ثم التعلق بواسطة حزام السلامة إلى قمة البرج.
- رفع الزيت بواسطة الحبل والدلو.
- إزاحة كارتر مضاعف السرعة.
- إزاحة سدادة التفريغ لسكب الزيت المستعمل في الدلو.
- تنظيف الكارتر بزيت الوقود أو الكيروسين.
- إغلاق فتحة التفريغ ثم سكب الزيت حتى المستوى المحدد.
- إعادة إغلاق الكارتر.

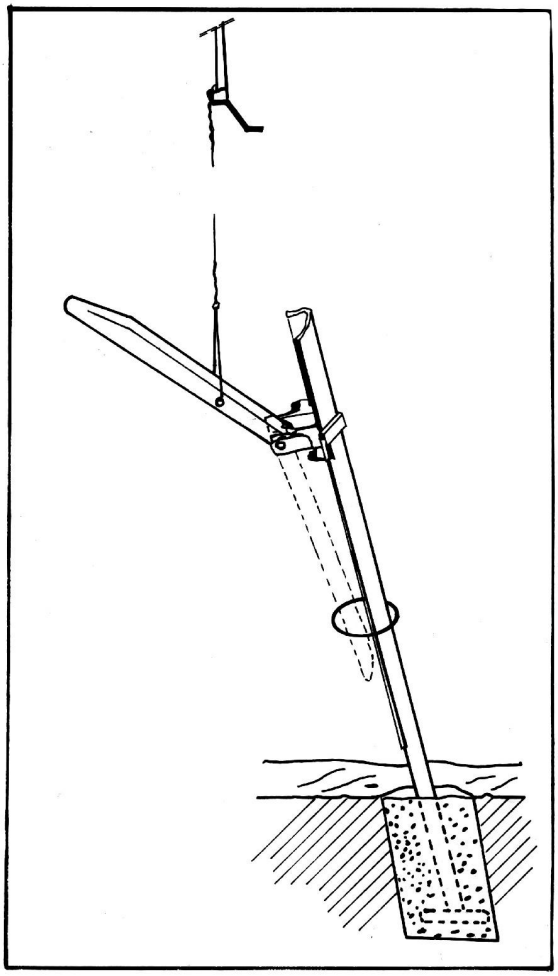
تشحيم باقي الأجزاء:

- تشحيم محور التوجيه، والمصدم ذي الكريات، ومدار العصا (انظر الشكلين 4 و5)
- تشحيم المحاور والمدرجات، والساعد (يتوقف على نوعية الآلة المستخدمة)
- تزييت محور مدار الدفة.

<u>الشكل 2:</u> مكبح يدوي.

الشكل 2: مكبح يدوي

Figure 2 : Frein manuel

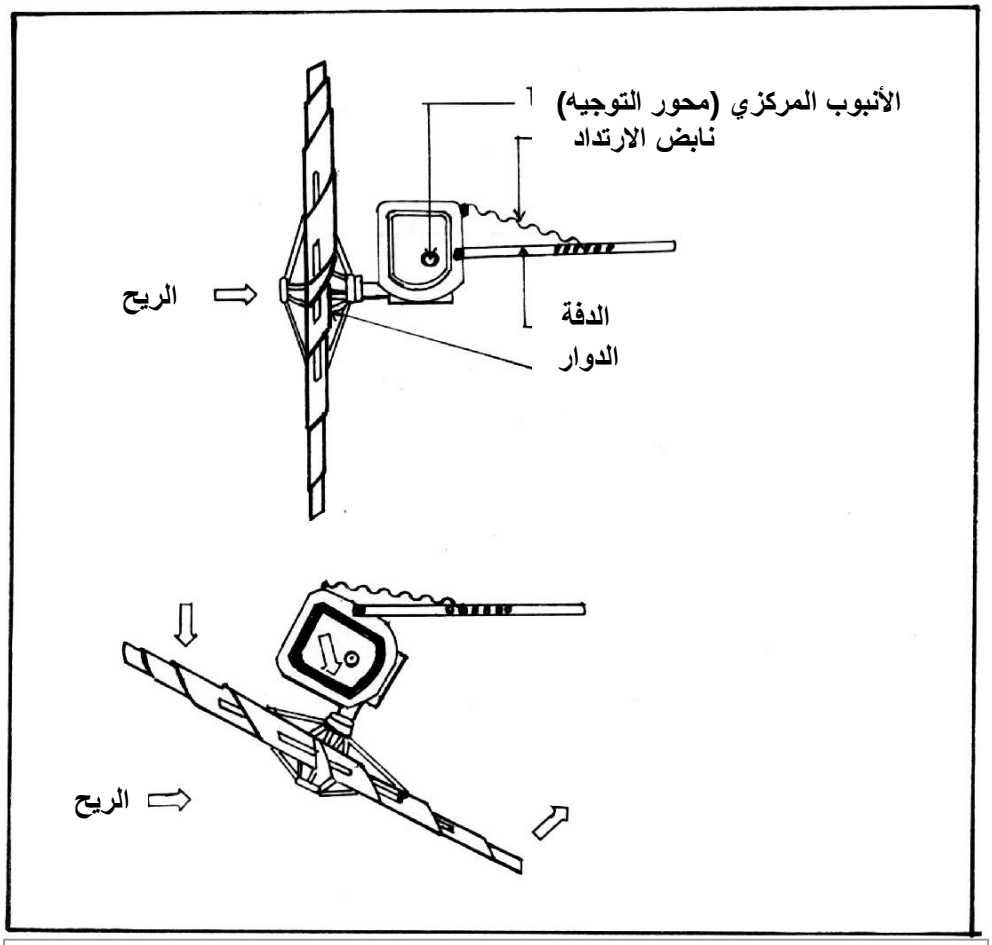


هذا المشهد من فوق المحرك الهوائي يبين كيف يعمل نظام "تقويم المروحة". نلاحظ أن محور دوران الدوار قد حاد عن موقعه بالنسبة لمحور الأنبوب المركزي، الذي يُوجَّه من حوله المحرك الهوائي حسب مسار الرياح. نلاحظ أن الدفة قد حادت عن موقعها أيضا ولكن في الجهة المعاكسة، وكذلك نقطة ربط نابض الارتداد.

حين ترتفع قوة الرياح، يدور الدوار حول المحور المركزي، بينما تبقى الدفة في اتجاه تدفق الرياح.

يرتفع توتر النابض بازدياد دوران المروحة، فيحافظ على وضع هذه الأخيرة في مقابلة الريح. وإذا كان النابض مثبتا على أبعد نقطة من الدفة، فإن توتره يكون أكبر بدرجة تسمح له بالحفاظ على وضع المروحة في مواجهة تدفق الرياح وإن كانت شديدة.

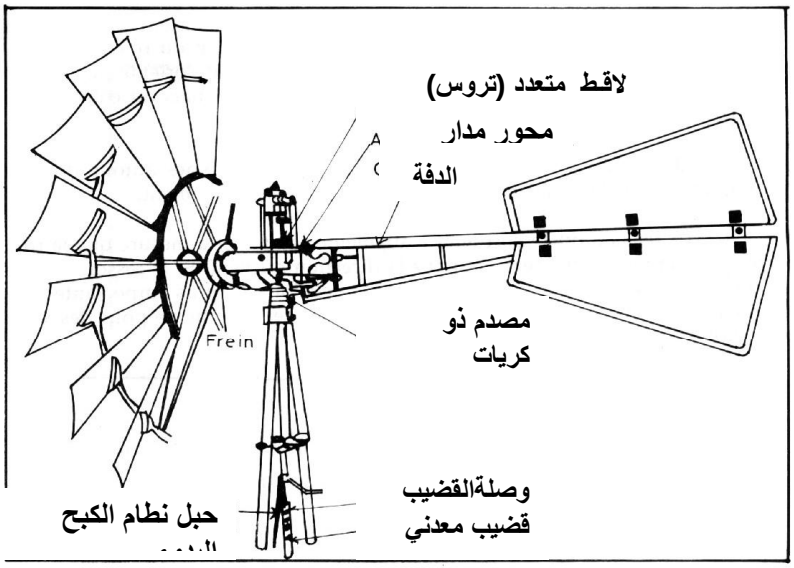
الشكل 3: نظام تقويم المروحة (بالنسبة لسرعات الريح العالية).

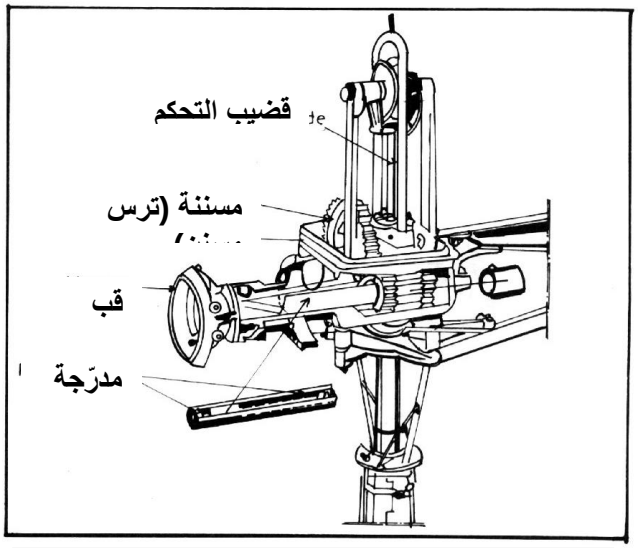


الشكل 3: نظام تقويم المروحة (بالنسبة لسرعات الريح العالية).

الشكل 4: المروحة والدفة

الشكل 4 : المـروحـة والدفّـة





الشكل 5 : نقل الحركـة

الشكل 5: نقل الحركة

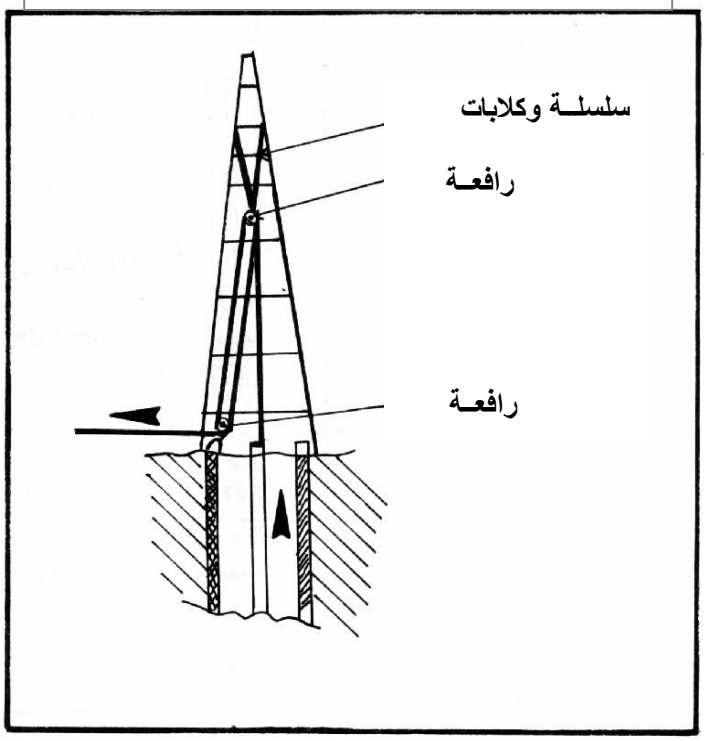
قب moyeu

مدرجة Roulement

ت) فحص نظام الضخ:

الأدوات والمعدات الضرورية: ملزمة أنابيب، سلاسل بكلاب، رافعتان بكلابات، مفتاح سلاسل، مفتاح أنابيب، حبل (بقطر 2,5 سم)، بكرة بكلاب، حلقات المكبس، أطواق تجميع الأنبوب والعصا، مصفاة.

الشكل 6 :تقنية رفع الماسورة



- ربط السلسلة بقمة البرج (الشكل 6) من الداخل.

- تثبيت الرافعة الأولى بالسلسلة ثم تمرير الحبل فيها.
- ربط الرافعة الثانية بقاعدة العامود ثم تمرير الحبل القادم من الرافعة الأولى.
- تفكيك عصا الآلة باستعمال ملقط ملزم أو ملزمة أنابيب.

إذا كانت الأسطوانة من النوع المفتوح: (الشكل 7)

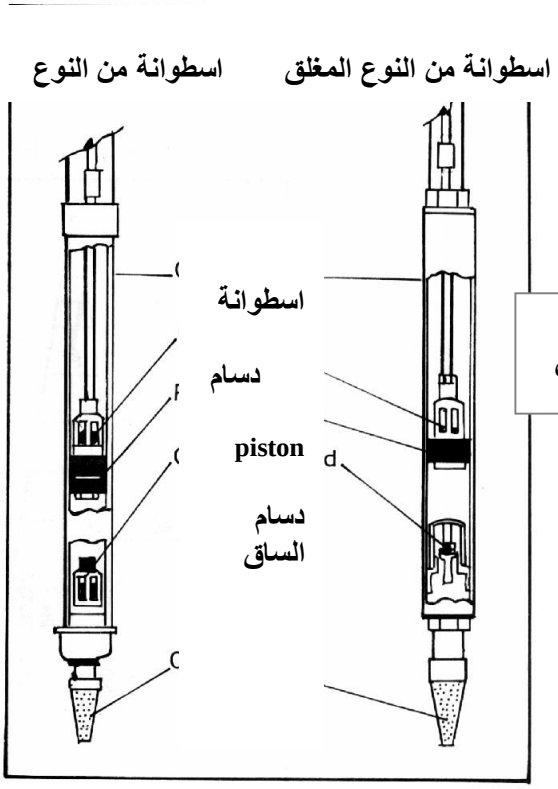
- رفع العصا والمكبس باستعمال الحبل والرافعتين
- فحص حلقة المكبس واستبدالها عند الضرورة (كل سنتين على الأقل)
- إعادة تثبيت المكبس والعصا ثم وصلهما

إذا كانت الأسطوانة من النوع المسدود:

- رفع ماسورة الماء كاملة بواسطة الحبل والرافعتان وملزمة الأنابيب.

- فك كل جزء من الأنبوب والعصا بواسطة مفتاح سلاسل أو مفتاح أنابيب.
- فك أسطوانة المكبس، والتأكد من حالة تآكل الحلقة والأسطوانة من الداخل (انظر الشكل 8)
- استبدال الحلقة عند الضرورة (كل سنتين على الأقل) وتنقية المصفاة.
- إعادة تثبيت الماسورة بعد تغيير قطع التجميع التي بها عيب.

الشكل 7: **مختلف أنواع الأساطين** (الاسطوانات)

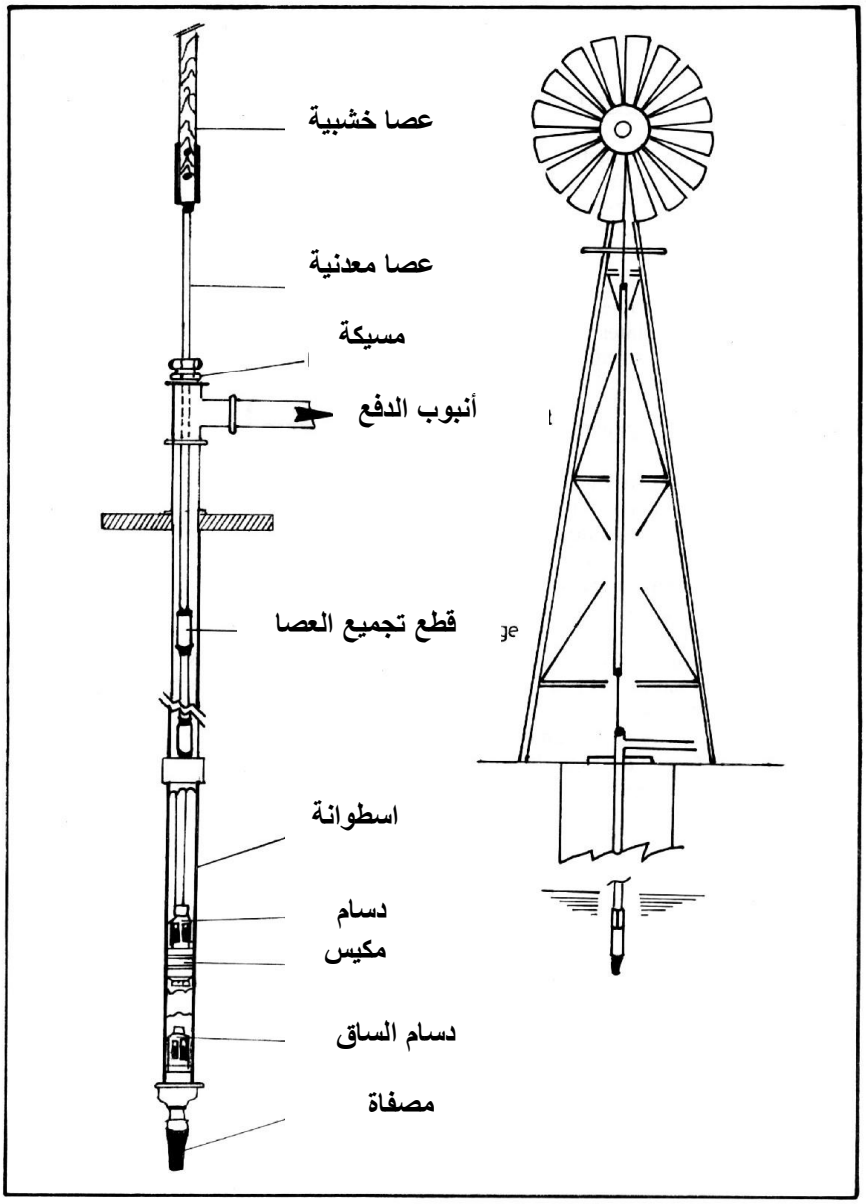


الشكل 7: مختلف أنواع الاسطوانات

ث) **الإصلاحات البسيطة:**

- إعادة تثبيت كافة حلزونات العامود واستبدال اللوالب الناقصة.
- إصلاح الأجزاء المعطوبة من العامود والدوار (العارضات، الشفرات...)
- إصلاح نظام الكبح
- تلحيم القطع المكسرة.

الشكل 8 : آلـيّة ضخّ



لائحة العناصر الضرورية لفحص وصيانة المحركات الهوائية ذات المروحة متعددة الشفرات

- ☐ **الأدوات:**
- ☐ مفاتيح ربط متعدلة
- ☐ ملاقط متعددة الأغراض
- ☐ ملقط ملزم
- ☐ مبراغ
- ☐ مسواة

- مفتاح سلاسل (24 بوصة)
- مفتاح أنابيب
- مفاتيح مسطحة (تشكيلة مفاتيح مسطحة معيارية من 1\4 بوصة إلى 3\4 بوصة
- مطرقة، مطرقة بناء، مطرقة برأس محدب
- فرشاة لتنظيف الشموع

- **المعدات:**

- حزام السلامة
- كيس الأدوات
- دلو معدني أو بلاستيكي بسعة 10 لترات
- صفيحة زيت
- مضخة شحام
- سلم
- مشد
- مكبح تثبيت للأنابيب (1 1\4، 1 1\2، 2، 3، و4 بوصات)
- سلاسل من 2 مترين و3 أمتار (حلقات من 2,5 سم) وكلابات
- رافعتان من عيار 2 بوصتان و6 بوصات مع كلابات
- حبل من 2,5 سم في القطر و 75 مترا في الطول
- حبل من 1 سم في القطر و 25 مترا في الطول
- عدة لحام كاملة بنافثة نار لمختلف المعادن مع قانع واق وقفازات.

- **التجهيزات:**

- شحام (أنبوب أو صفيحة)
- 5 لترات من الزيت غير المطهرة (10 واط)
- 2 لتران من الكيروسين أو زيت الوقود
- 1 صفيحة من مذيب مقاوم للصدأ
- تشكيلة كبيرة من اللوالب والحلزونات
- دسارات من النحاس
- طوق تجميع للأنابيب
- طوق تجميع لعناصر العصا
- تشكيلة حلقات للمكبس
- مصفاة (أشكال مختلفة)

محرك هوائي كهربائي أو مولد هوائي

1. مبادئ عامة وتطبيقات:

أ. المولد الهوائي:

يمثل الشكل 1 تخطيطا عاما لمولد هوائي يستعمل في إنتاج الطاقة الكهربائية. تدور شفرات المروحة تحت تأثير الرياح لتدير بدورها مولدا. وبعد المرور بأنظمة مراقبة، تحول الطاقة الكهربائية المُنتجة إلى الأجهزة الموصولة.
يمكننا أن نذكر من بين الأنظمة الموجودة المولدات الهوائية ذات المحور الأفقي أو ذات المحور العمودي. وسنقوم بالتوقف هنا على المولد الهوائي ذي المحور الأفقي.

تصنف الولدات الهوائية حسب طاقتها الإسمية ، ويمكننا تمييز:
المولدات الهوائية بالتيار المستمر (شاحن بطاريات)

المولدات الهوائية بالتيار المتناوب

- ❖ طاقات صغيرة (أقل من 10 كيلواط)
- ❖ طاقات متوسطة (أقل من 500 كيلواط)
- ❖ طاقات كبيرة (أزيد من 500 كيلواط)

عادة ما نتحدث عن المولدات الهوائية باستعمال عبارة "الطاقة الاسمية"؛ وهي تُنتج انطلاقا من "نقطة تشغيل اسمية" حسب "سرعة اسمية" للريح. هذه السرعات تكون ما بين 7 م/ث و 12 م/ث، في حين تتراوح الطاقة الاسمية المُنتَجة حسب السرعة ما بين 0,5 كيلواط و 15 كيلواط تقريبا. لكن يجب التأكيد على أن هذه القيم يمكن أن تكون خاطئة، لأن السرعة الاسمية للريح تختلف بحسب نوعية الآلات المستعملة. لذلك يعتبر قطر الآلة مؤشرا أفضل للطاقة الإنتاجية (انظر الشكل 2).

ويمكن للمولد الهوائي أن ينتج الكهرباء بكلا التيارين، المستمر والمتناوب. كما أنه يمكن في حالة اللجوء إلى تخزين الطاقة استعمال بطاريات تخزين، ثم مموج. وبطبيعة الحالة، إضافة مموج إلى دارة كهربائية يؤدي إلى خسارات في الطاقة يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصميم النظام. ويمكن ربط كافة أنواع الأجهزة الكهربائية بالمولد الهوائي، كالبطاريات، والأجهزة المنزلية، والمضخات ذات المحرك، وكذلك إمكانية ربطه بمولدات ديزل في الأماكن المنعزلة.
هناك أيضا إمكانية ربط المولدات الهوائية مباشرة بالشبكة الكهربائية: فتنتج حينها الطاقة مباشرة حسب وجود الرياح، بدون اللجوء إلى تخزين الطاقة (محطة للطاقة الهوائية).

تكون المحطة الهوائية أو الحظيرة الهوائية مكونة من عدد معين من المولدات الهوائية بتيار متناوب قد تصل طاقتها إلى عدة ميغاواطات.

يمكن توصيل الطاقة المنتَجة مباشرة بالشبكة الكهربائية.

1) مضاعف السرعة:

سبق أن عرفنا أن استعمال المُنَوب (مولد التيار المتناوب) غالبا ما يفرض إضافة مضاعف للسرعة.

وبالفعل، فالدوارات التي يفوق قطرها 5 أمتار تكون سرعة دورانها أضعف (أقل من 200 دورة في الدقيقة) من أن تولد الطاقة الكافية لتشغيل منوب تقليدي.

لذلك، من الضروري أن يضاف في هذه الآلات مضاعف سرعة يوضع بين المولد الهوائي والمنوب.

2) شفرات المروحة:

تعد شفرات المروحة من أهم أجزاء المولد الهوائي، وعليها يتوقف التشغيل الجيد للآلة وعمرها الافتراضي، وكذلك مردودية المحرك الهوائي.

هناك عدة عناصر تُميز هذه المرواح:

- الطول
- العرض
- المقطع الجانبي
- مواد صنعها
- عددها

من بين هذه العناصر، هناك ما يمكن تحديده انطلاقا من فرضيات الحساب والقوة والمزدوجة. ويمكن ترتيبها حسب الأهمية على الشكل التالي: الطول، المقطع الجانبي، ثم العرض. وهناك عناصر أخرى يمكن اختيارها حسب معايير الكلفة ومقاومة المناخ...

2. 1 الطول:

يكون قطر المروحة تابعا للطاقة المراد إنتاجها. كما أن تحديده يؤثر على وتيرة الدوران القصوى التي لا يجب أن تتعداها المروحة لتفادي الضغط المسلط على أطراف الشفرات من قبل القوة النابذة. ويجب الأخذ بعين الاعتبار تقادم الشفرات واحتمالات الارتجاج، خصوصا بالنسبة للشفرات الطويلة.

تحدد السرعات التي سنبين أسفله بعضا من قيمها إطارا لسرعة دوران المولد.

القطر (متر)	1	2	5	10	20	50
دوران أقصى (دورةاثانية)	2000	1000	400	200	200	40

تحت هذه السرعات القصوى، تأخذ السرعة المختارة بعين الاعتبار العلاقة بين السرعة على طرف الشفرة U وسرعة الريح الطبيعية أو الحقيقية V.

هذه العلاقة تحدد مردودية المروحة بالنسبة لحد بيتز حسب نوعية الآلة.

2. 2 العدد:

المولد الهوائي ذو قوة محرك عالية عند بداية التشغيل: تتميز بمراوح متعددة الشفرات ومعروفة في مجال ضخ المياه، والتي تكون فيها قوة المحرك عند التشغيل نسبية إلى عدد الشفرات والقطر. أما مردوديتها بالنسبة إلى حد بيتز فضعيفة، لأن سرعتها تكون محدودة على طرف الشفرة. ويكون قطرها الأقصى 5 أمتار.

المولدات الهوائية "السريعة": تكون عادة بمراوح ثنائية أو ثلاثية الشفرات، ولا يؤثر عدد الشفرات على الطاقة المنتَجة التي تكون تابعة فقط للسطح الممسوح بواسطة الدوار.

كانت الآلات الهوائية سابقا تصنع ثنائية الشفرات، أما الآلات الحديثة فهي ثلاثية الشفرات، مهما اختلف حجم الطاقة التي تنتجها.

ولكل منها إيجابيات وسلبيات.

	الإيجابيات	**السلبيات**

ثنائية المراوح	وتيرة دوران كبيرة تسمح بمردودية قصوى بالنسبة إلى حد بيتز: علاقة U/V (السرعة على طرف الشفرة تحت سرعة ريح أكبر من 10). آلة بسطية جدا، خصوصا بالنسبة لجهاز ضبط التشغيل حين يتوفر. آلة خفيفة الوزن ومضاعف سرعة أصغر. عدة أقل كلفة.	حساسة للارتجاجات. هذا هو أهم سلبياتها، إذ بمقارنة الأداء في نفس الظروف، تكون المروحة ثنائية الشفرات أقل مقاومة. أكثر ضجيجا بعض الشيء، إذ أن وتيرة الدوارن، والسرعة على طرف الشفرة، تكون أقوى.
ثلاثية المراوح	أقل حساسية للارتجاجات من المروحة ثلاثية الشفرات. قوة محرك عند التشغيل أكبر قليلا.	وتيرة دوران أقل، وبالتالي مردودية أضعف. آلة ثقيلة وأكثر تعقيدا على مستوى نظام ضبط التشغيل.

ملاحظة:

تسمح المراوح المزودة بثقالة موازِنة بتحسين المردودية، ولكن مشاكل الارتجاج تبقى عالقة.

سوف لن نتحدث هنا عن العناصر الأخرى التي تتميز بها الشفرات، لأنها تتطلب إلماما بمسائل ديناميكية الهواء، وميكانيك السوائل، ومقاومة الأجسام.

3) <u>نظام الحماية وضبط التشغيل:</u>

مهما تكن نوعية المولد الهوائي، يكون من الضروري تزويده بنظام يسمح بتخفيف الضغوط الميكانيكية المسلطة على الآلة، تفاديا لتحطيمها من قبل الرياح الشديدة القوة.
يمكن لهذه الأنظمة أن تعمل بطرق مختلفة ودقيقة وبمستوى من الأتمتة يكون منعدما أو مدمجا.
وسوف ندرج هنا على سبيل المعرفة أهم نظم ضبط التشغيل:

- نظام الكبح اليدوي.
- نظام الكبح الآلي.
- نظام الكبح وإعادة التشغيل الآلي.
- نظام ضبط التشغيل بواسطة كابح هوائي ديناميكي نابذ (المقطع الجانبي والميلان ثابتان).
- نظام ضبط تغير ميلان الشفرات (مقطع ثابت، ميلان متغير).
- نظام ضبط عن طريق "تقويم المروحة".
- نظام ضبط سقوط التماسك الهوائي الديناميكي.

4) <u>جهاز التوجيه (الشكل 3):</u>

تحتاج المولدات ذات المحور الأفقي إلى توجيه دائم للآلة باتجاه مواز للرياح، وذلك لتقليل الضغوط المسلطة على المروحة والخسارات في قوة الدوران.

توجد هناك أنواع متعددة من أجهزة التوجيه، يتم اختيارها تبعا لقوة الآلة. وهي تشكل عنصرا جوهريا في التشغيل السليم لهذه الأخيرة.
تتعرض المولدات الهوائية ذات المحور الأفقي إلى ضغوط قوية أثناء التغيرات المفاجئة في الاتجاه، والناجمة عن التغيرات في توجه الرياح وسرعتها. وتزداد قوة هذه الضغوطات بتزايد السرعات الكبيرة لتغيرات الاتجاه.
وتعد تغيرات الاتجاه وتغيرات وتيرة الدوارن المرتبطة بعصفات الرياح سببا مباشرا للارتجاجات التي تؤثر سلبا على عمل الآلة.

يجب على جهاز التوجيه إذن أن يحقق توازنا بين ضرورة الحفاظ على وقوف الدوار في مواجهة الرياح، دون أن يسبب، أثناء وقوع تغيرات عنيفة في اتجاه الريح، تحولات سريعة في تغيير اتجاه الآلة.

وبالنسبة للمولدات الهوائية ذات الطاقة الإنتاجية الصغيرة أو المتوسطة التي توجد مروحتها في مقدمة العامود، يكون جهاز التوجيه فيها عبارة عن دفة مكونة عادة من مسطح (صفيحة معدنية أو لوح خشبي) في أقصى رافدة ساندة لجسم الآلة.

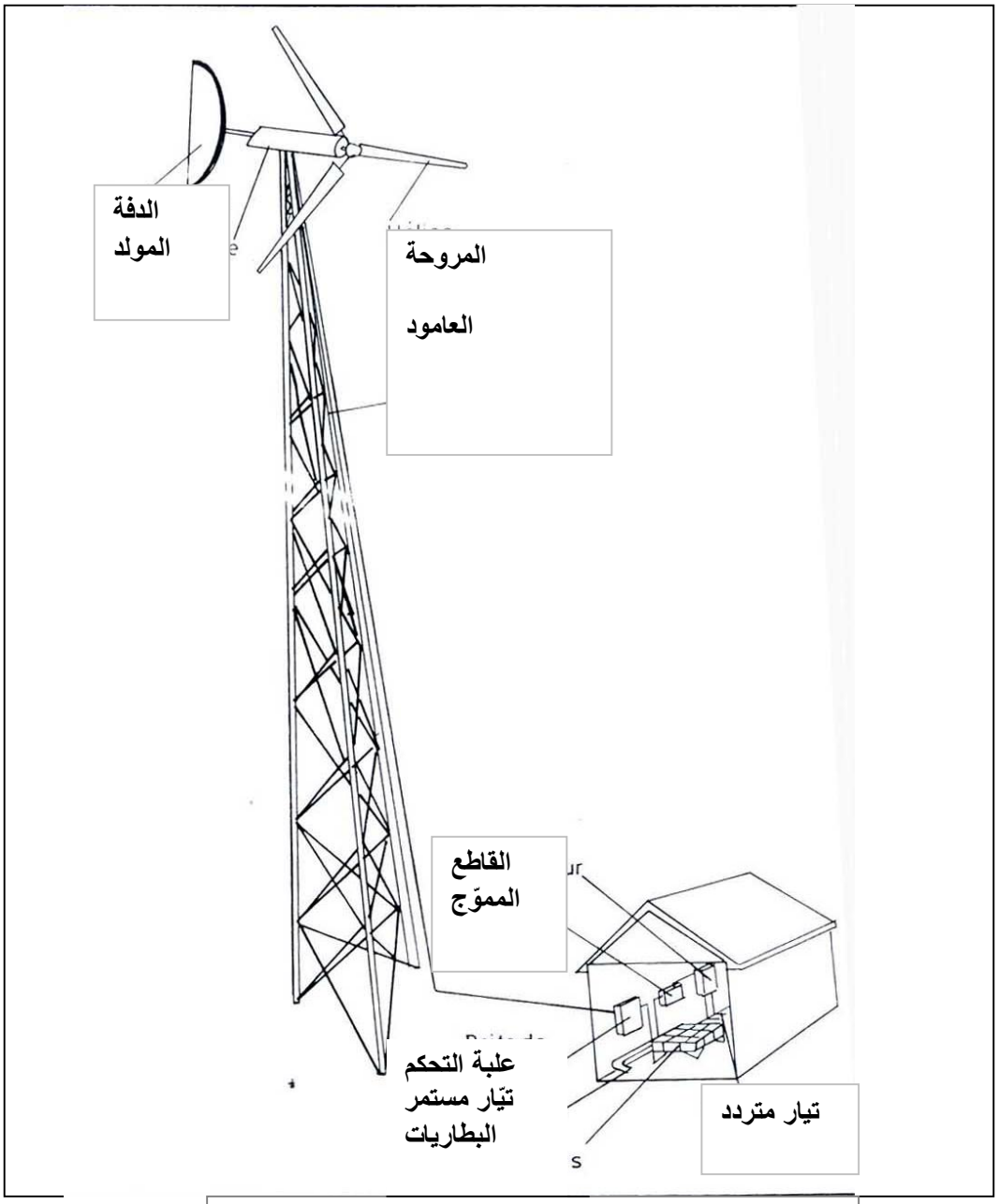
5) <u>العامود الساند (الشكل 4):</u>

سوف نحدد ارتفاع ساند المولد الهوائي الذي يعبر عادة المعيار الوحيد الذي يمكن تغييره.
يرتبط الارتفاع إذن بالأساس بالحواجز المحيطة بالآلة. لقد سبق أن رأينا قانون تغير سرعة الريح تبعا للارتفاع ومعايير الاضطرابات الجوية. سوف يحدد الارتفاع إذن تبعا لهذين المعيارين:

- بالنسبة للمواقع المناسبة، سوف يكون ارتفاع الساند 12 مترا على الأقل.
- بالنسبة للمواقع الأقل مناسبة، سوف يكون من الضروري زيادة الارتفاع إلى أقصى حد ممكن (من 15 إلى 20 مترا حسب الإمكانيات المادية ومعايير الاضطرابات).

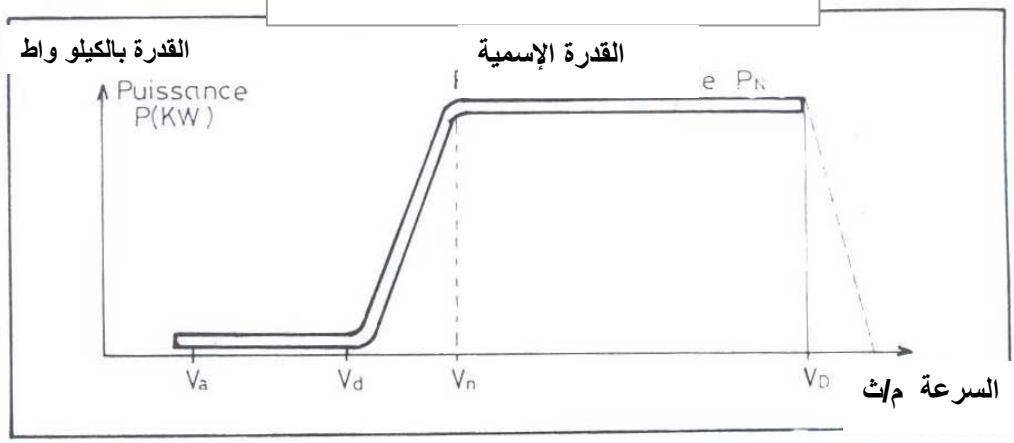
لقد رأينا أن استعمال ساند مشدود ذي ارتفاع عال يكون أكثر سهولة وأقل تكلفة. لكن للأسف، كثيرا ما يكون استعمال ساند بأبعاد كبيرة ضروريا في بعض المواقع ولكن التضاريس لا تسمح باستعمال الأعمدة المشدودة (مثال: قمة جبل صخرية).

-

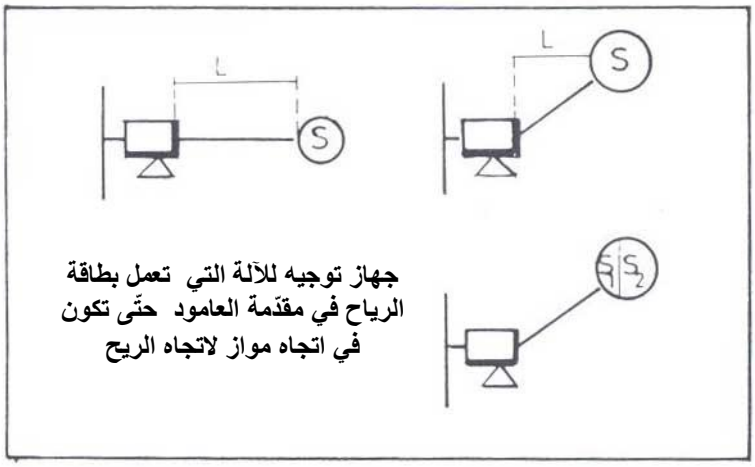


الشكل 1: مولد كهربائي هوائي

الشكل 2: بعض التعريفات



الشكل 3: جـــهاز التوجيـــه



جهاز توجيه للآلة التي تعمل بطاقة الرياح في مقدّمة العامود حتّى تكون في اتجاه مواز لاتجاه الريح

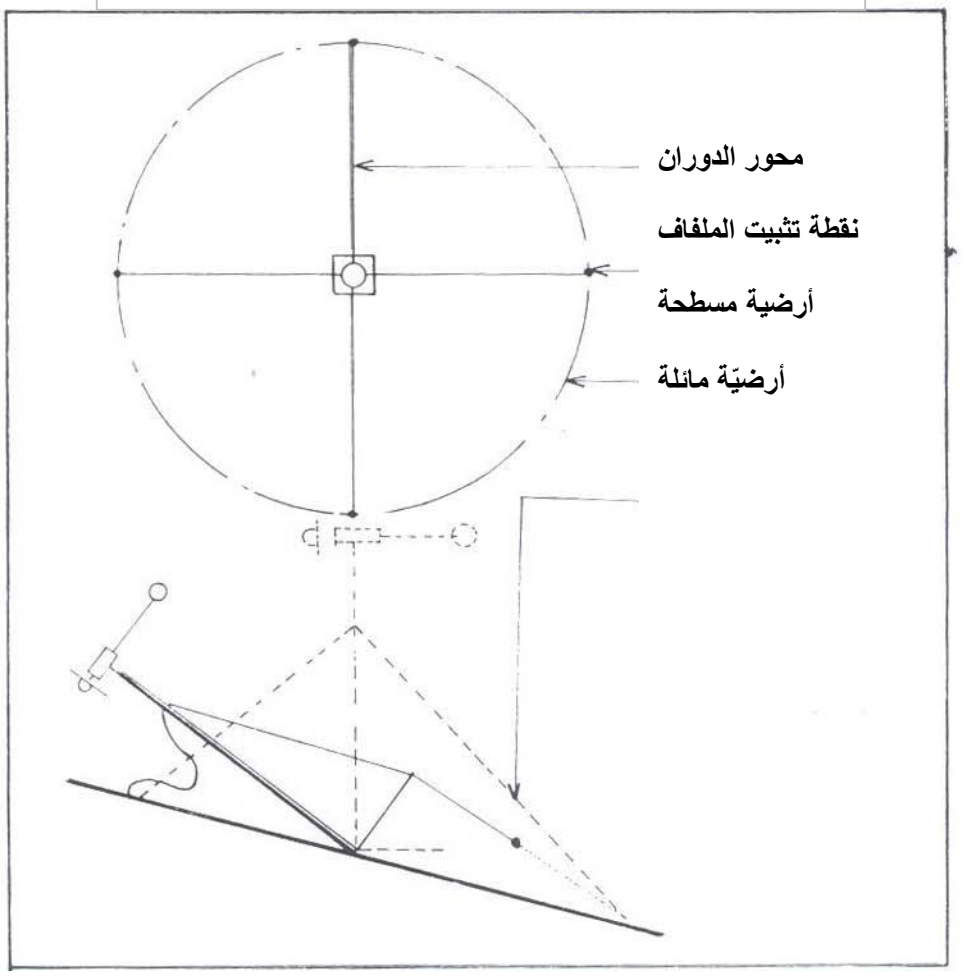
: تدور مروحة الآلة، ولكن Vaسرعة البدء لا يوجد هناك إنتاج للطاقة، لأن سرعة الريح غير كافية.

: القيمة الاسمية الدنيا Vdسرعة التشغيل التي انطلاقا منها يقوم النظام بتحول الطاقة الهوائية المتوفرة إلى نوع آخر من الطاقة (إما ميكانيكية أو كهربائية).

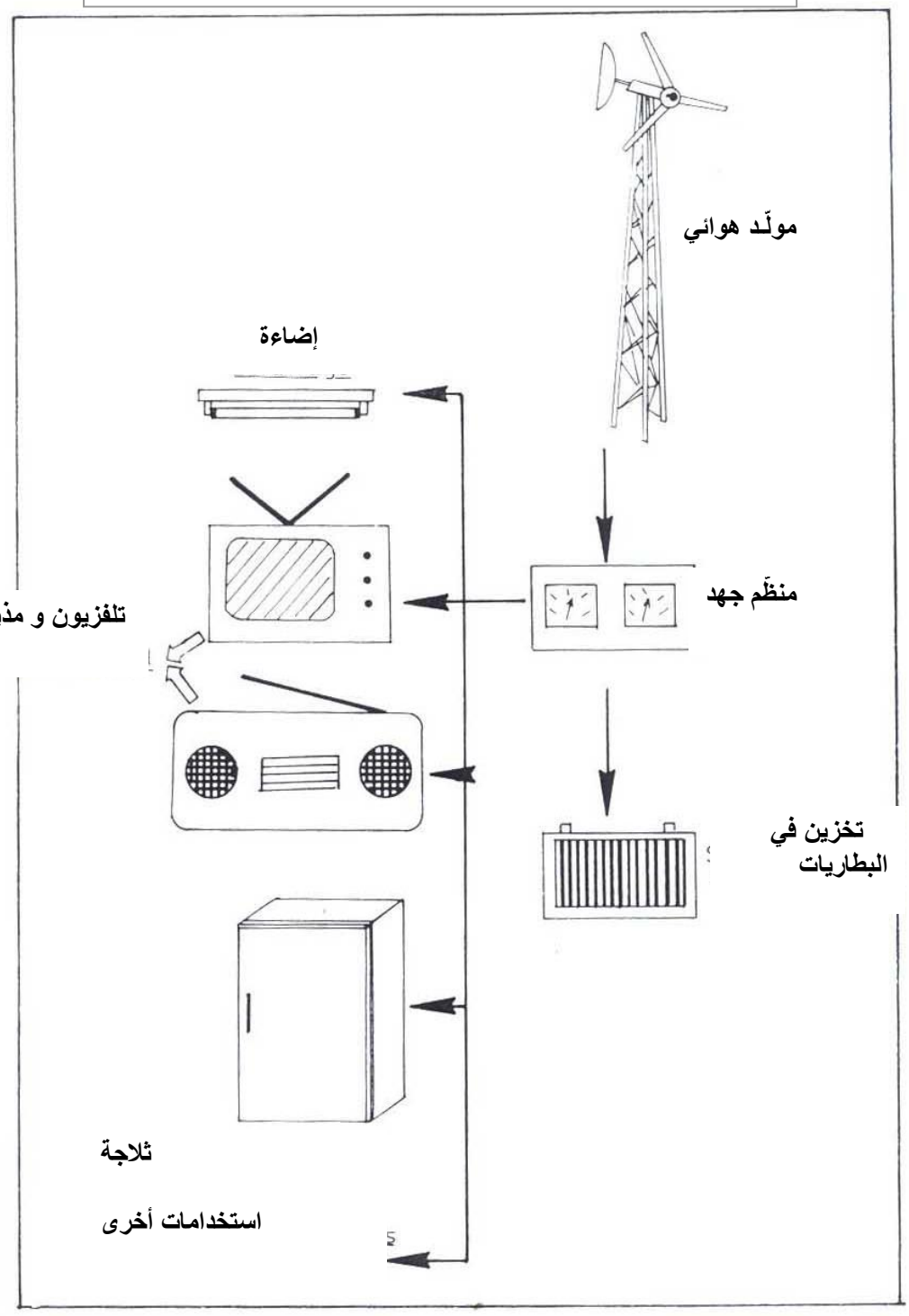
: تعد السرعة المثلى Vnالسرعة الاسمية بالنسبة للآلات ذات المحور الأفقي للحصول Pnعلى الطاقة القصوى أو الطاقة الاسمية

: إذا كانت سرعة Vdسرعة سقوط التماسك ، فإن الآلة تتوقف Vdالريح تفوق قيمة بواسطة جهاز كابح. هذا الجهاز يختلف حسب نوعية الآلات. وبازدياد السرعة، تقوم المكابح في بادئ الأمر بتحديد الطاقة المنتَجة تبعا ، لكي تكبح فيما بعد كليا Pnلقيمتها الاسمية المحرك الهوائي عن طريق سقوط تماسك هوائي ديناميكي أو تقويم المروحة.

الشكل 4 : عامود حامل مشدود وقلاب



الشكل 5 : تطبيقات (استخدام) طاقة الرياح لأغراض منزليّة



ب. <u>تطبيقات الطاقة الهوائية الكهربائية:</u>

- **استعمال الطاقة عن طريق تخزينها في البطاريات (الشكل 5)**

- الإنارة،
- أجهزة التلفاز والمذياع،
- أجهزة التدفئة والتبريد،
- الإنارة العمومية،

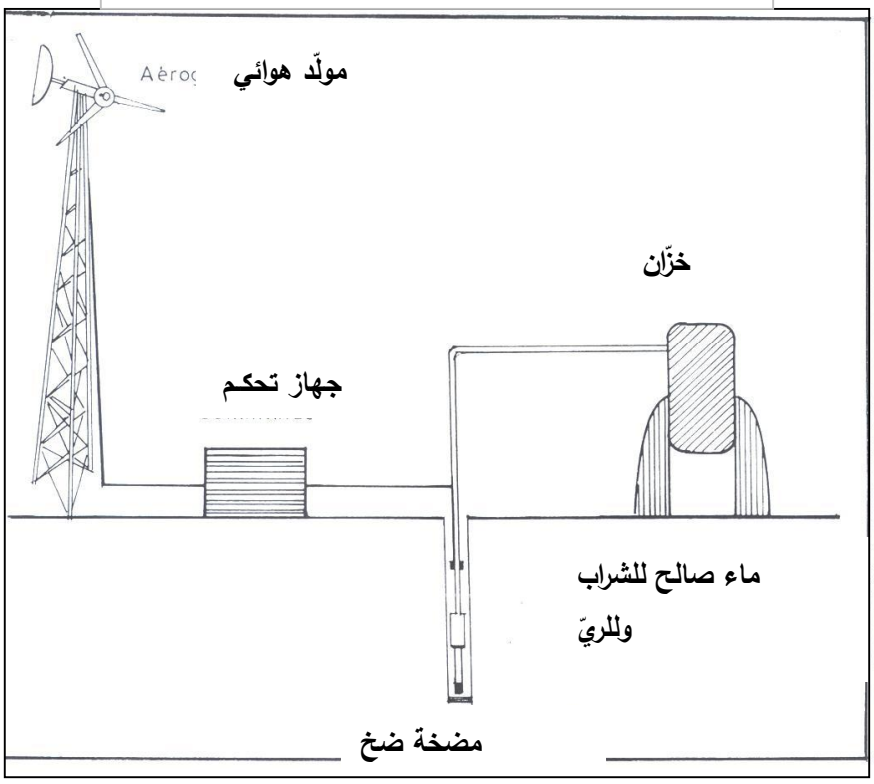
- غيرها.

➢ **استعمال مباشر (بدون تخزين)**

- ضخ الماء (الشكل 6)
- الارتباط بالشبكة الكهربائية (الشكل 7)

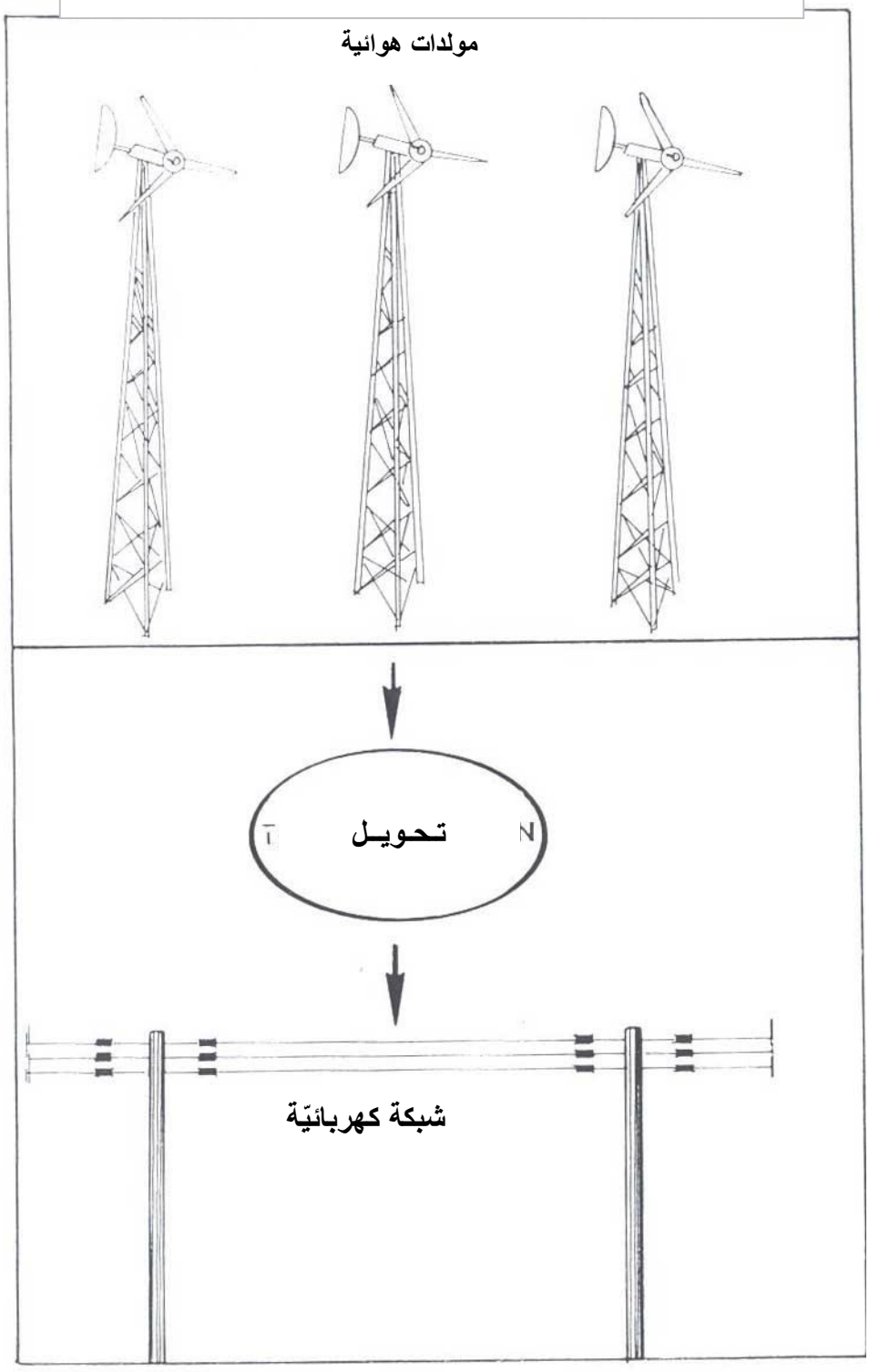
-

الشكل 6 : ضخّ المياه بواسطة مولد هوائي



-

الشكل 7 : ربط بالشبكة الكهربائية



1) **<u>ضخ المياه بواسطة المولد الهوائي:</u>**

رأينا بأن المحركات الهوائية المستخدمة في ضخ المياه يجب بناؤها مباشرة فوق رأس البئر. فتحديد موقع إنشاء المحرك الهوائي لضخ المياه يتوقف إذن على موقع البئر أو نقطة استخراج الماء. أما إذا لم يتم حفر البئر بعد، فمن الممكن آنذاك اختيار موقع ملائم لمتطلبات إنشاء محرك هوائي للضخ.
ومن ناحية أخرى، فإن أكبر سلبيات المحركات الهوائية متعددة الشفرات يتمثل في كونها حين تفوق سرعة دورانها 10 م\ث فإن المحرك الهوائي يصبح في مهب الريح بفضل لوحة الضبط مما يجبر نظام الضخ على التوقف عن العمل.
كما أن المردودية تكون أقل مما عليه بالنسبة للمراوح السريعة، ويكون منحنى المردودية فيها أكثر "حدة" مما عليه في المراوح السريعة. وأخيرا، لا يكون الارتفاع المانومتري μوالتابع الإجمالي ذا أهمية تذكر.
لذلك تم التفكير في استعمال المحركات الهوائية ذات المراوح السريعة في ضخ المياه. كما تم الانتباه إلى أن أفضل حل لضخ المياه بالطاقة الهوائية يكمن في الضخ الكهربائي. فالمولد الهوائي يمكنه أخذ أفضل موقع لإنتاجية أفضل للكهرباء، وكذلك البئر يمكن حفره في أفضل موقع مناسب لاستخراج الماء.

1. 1 المضخات ذات مكبس:

تصنع آلات سريعة بثلاث أو أربع شفرات بضبط قوة نابذة، مما يسمح باستمرار الضخ في السرعة الاسمية في رياح تصل سرعتها إلى 33 م\ث، 120 كلم\س. وتكون هذه الآلات مزودة بمخفض يربط بين المروحة وجهاز الساعد والمدور.

1. 2 المضخات النابذة:

قام هذا النوع من المضخات بأخذ مكان المضخات ذات المكبس، التي غالبا ما تكون كثيرة الضجيج، أكثر كلفة، ولا تسمح في العادة بالاقتران المباشر مع المحرك الكهربائي أو مع كل حركة دوران.
تتأقلم المضخات النابذة، التي تكون قوة المحرك فيها ضعيفة عند السرعات المنخفضة، جيدا مع المولدات الهوائية السريعة. كما أن خصائصها من حيث الطاقة والسرعة تسمح بالربط بين منطقة المردودية القصوى بالنسبة للمحرك الهوائي والمنطقة الأفضل لاستعمال المضخة.
يمكن القيام بتوصيل المضخة إما ميكانيكيا عن طريق مضاعف للسرعة يوضع على عصا التحكم التي تعبر الأنبوب الدافع، وإما كهربائيا.

- <u>المحرك المغمور:</u>

توضع المضخات النابذة دائما في قاع البئر أو الحفرة المائية لأنها ليست ذاتية التسقية. ويتم تشغيلها بمحركات لاتزامنية أو أحادية أو ثلاثية المراحل. هذه المحركات، التي تستخدم في الحفر المائية الضيقة وللصبيب الضعيف، تكون ذات مردودية متوسطة (0,3 إلى 0,5) بسبب الخسارات المغنطيسية الناجمة عن طول المحرك بالنسبة لقطره.
تقام حاليا دراسات لاستعمال محرك مغمور بتيار متناوب. سوف يسمح هذا الحل، إلى جانب تحسين المردودية، بالضخ انطلاقا من مخزون كهربائي من دون حاجة للمرور عبر محول للتيار المستمر\المتناوب.
تعرف المضخات المغمورة بمحرك لامتزامن عائقين اثنين:

1) لا يمكن الضخ مباشرة إلا بطاقة أقل أو تساوي طاقة المولد الهوائي.
2) لا يمكن الضخ إلا في وجود الرياح.

باستعمال المضخات ذات المحرك بالتيار المتناوب، يمكن إزالة هذين العائقين.

- المضخات المغمورة بمحركات على السطح:

من أجل حل المشكل المطروح أعلاه، استخدم نظام ضخ يعتمد على محرك بتيار مستمر موجود على السطح.

يقوم المحرك بتشغيل المضخة بواسطة مجموعة عصي موجودة داخل الأنبوب الدافع.

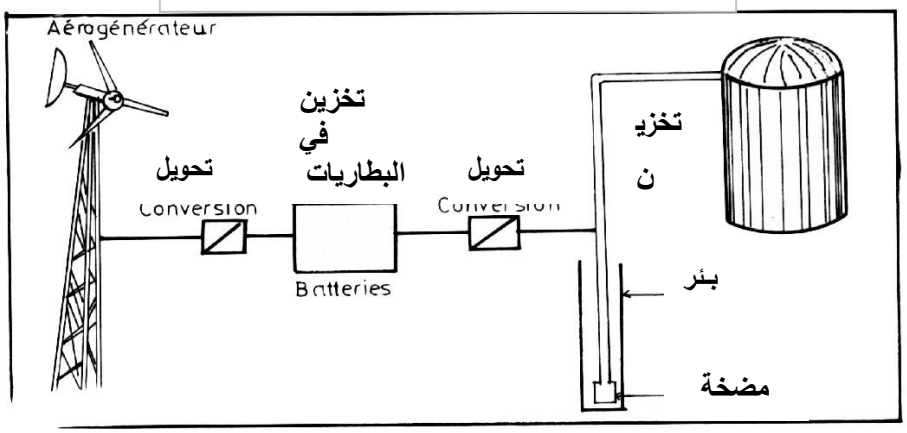
هذا الجهاز هو قيد التجريب بالنسبة للأعماق الكبيرة حيث لازال طول مجموعة العصي يطرح بعض المشاكل.

يمكن أيضا بواسطة هذه التشكيلة استعمال المضخات ذات المكبس التقليدية المشغلة بمحرك على السطح. ويعد ضخ المياه بواطسة الكهرباء حلا جيدا، إذا أننا نستطيع بآلة واحدة ضخ الماء وإنتاج الكهرباء؛ إضافة إلى أننا نستطيع ضخ الماء من أعماق أكبر من تلك التي صممت لها المحركات الهوائية متعددة الشفرات (إلى 200 متر).

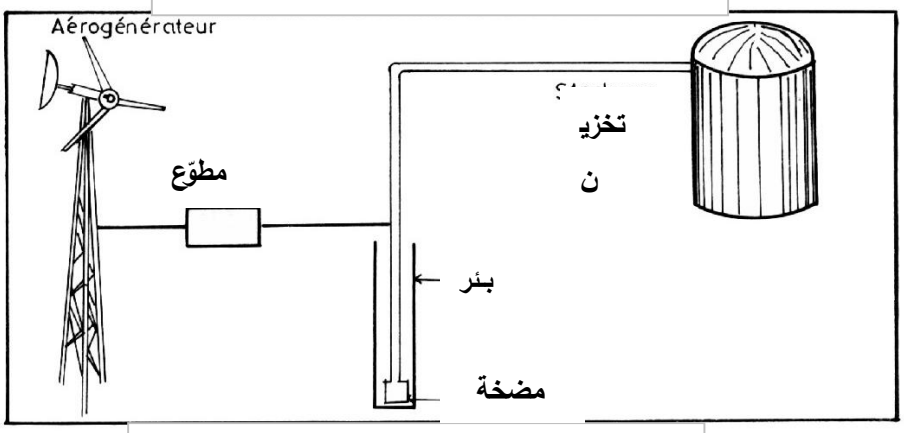
1. 3 تشكيلات ضخ المياه (الأشكال 8، 9، 10):

من بين أنواع ضخ المياه التي يمكننا تحقيقها بواسطة مولد هوائي، يمكننا ذكر الأنواع التالية على سبيل المعرفة:

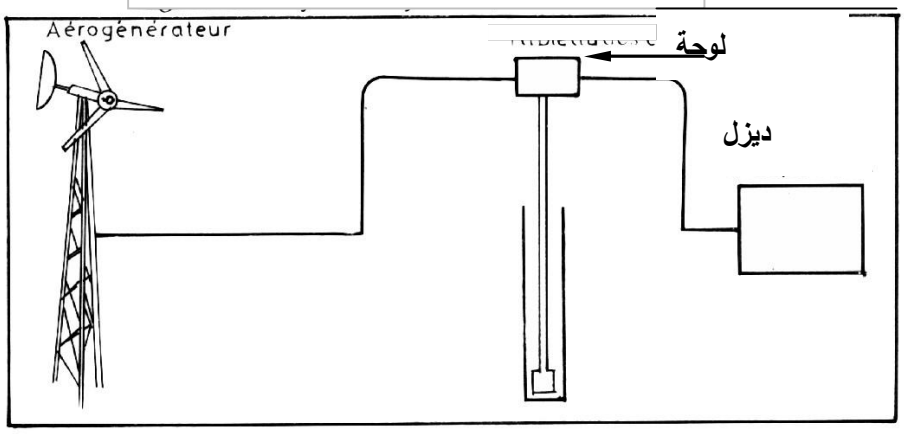
الشكل 8 : تخزين في البطاريات



الشكل 9 : استعمال مباشر مع هبوب الريح



الشكل 10 : نظام مزدوج طاقة رياح / ديزل



- الضخ انطلاقا من مخزون كهربائي في بطارية.
- الضخ حسب هبوب الريح.
- الضخ بواسطة نظام هجين هوائي\ديزل.

نعتقد أن الضخ حسب هبوب الريح يبقى الحل الأمثل بالنسبة للظروف الطبيعية بالمغرب. فهذا النظام يعمل تماما كمحرك بمروحة متعددة الشفرات ولكنه يمتلك مزايا عدة.

- يمكن إنشاء الآلة بعيدا عن مصدر الماء وبالتالي تجميع طاقة أكبر.
- الآلة والمضخة متأقلمتان بشكل جيد لتحقيق التشغيل الأقصى. ويبقى العائق الوحيد تشغيل المضخة في رياح ضغيفة.
- انعدام وجود أية مكونات إلكترونية، مما ينقص من مشاكل الأعطاب والصيانة.
- تبقى الصيانة مقتصرة على مجموعة المحرك والمضخة فقط.
- يمكن للنظام أن يعمل تحت سرعات كبيرة مما يزيد من ارتفاع نسبة الصبيب المضخوخ والعلو المانومتري الإجمالي.

وهناك أيضا نظام الضخ الهجين الذي يشكل حلا جيدا بالنسبة لمشكلة تردد الرياح، والأيام التي تنعدم فيها الرياح وتخزين الطاقة في البطاريات. لكن، نظرا للمشاكل التي تعرفها محركات الضخ ديزل أثناء تشغيلها، فإن حضور تقني متخصص في ميدان محركات الضخ ديزل و المولدات الهوائية بشكل دائم يبقى ضروريا.

ويعد الضخ بواسطة مجموعة ضخ كهربائية انطلاقا من البطاريات حلا جيدا وبسيطا. غير أنها تحتاج إلى مجموعة تخزين كهربائي وكل الأجهزة التي تتعلق به، وهو ما يشكل مصدرا دائما للأعطاب والمشاكل، خصوصا في العالم القروي.

2) **<u>حساب الطاقة المتوفرة:</u>**

$P = 1/2 * \rho * S * V^3$: Sتساوي الطاقة المتوفرة عبر مساحة

لكن للأسف لا يمكن التقاط كل هذه الطاقة لأن السرعة في أسفل الآلة لا تكون أبدا منعدمة، وتثبت نظرية بيتز أن الطاقة الأقصى التي يمكن التقاطها تساوي 16\27 (حوالي 60%) من الطاقة الكلية.

(الكتلة الحجمية للهواء) 1,25 كلغ\متر مكعب، فإن الطاقة ρإذا اعتبرنا قيمة متوسطة لـ

تساوي:Sالقصوى الممكن تحصيلها بواسطة جهاز بمساحة

$$P = 16/27 * 1/2 * 1.25 * S * V^3$$

$P = 0.37 * V^3$ فيكون حد بيتز هو:

P : بالواط

S : بالمتر المربع

V : بالمتر\الثانية

$P = 0.29 * D^2 * V^3$ ، فإن حد بيتز الأقصى يساوي: Dإذا اعتبرانا مروحة بقطر

تكون الطاقة المنتجة بواسطة مولد هوائي نسبية بالنسبة إلى :

- مربع أبعاد الدوار
- مكعب سرعة الريح

تكون الطاقة التي ينتجها المولد الهوائي دائما طاقة ميكانيكية تُحول إلى طاقة كهربائية تستعمل مباشرة أو غير مباشرة لضخ الماء. يجب إذن أن يكون حد بيتز مرتبطا بكافة أشكال المردودية الخاصة بكافة التحولات.

المروحة	:	$0,2<\eta<0,85$
مضاعف السرعة أو مخفضها	:	$<0,98\eta0,7<$
المنوب أو مولد التيار المستمر	:	$<0,98\eta0,8<$
المحول	:	$<0,98\eta0,9<$
المقوم	:	$<0,98\eta0,9<$
البطاريات	:	$<0,8\eta0,7<$

الخسارات في الخطوط : $<0,98\eta\ 0,9>$

كما أن مردودية كل عنصر تختلف حسب طبيعة التشغيل المرتبط بسرعة دوران المروحة، وهو ما يزيد من تناقص المردودية الإجمالية للآلة خارج طبيعة التشغيل العادية.
وبالنسبة للمولدات الهوائية التقليدية التي تباع حاليا، فإن مردوديتها من الكهرباء تتراوح ما بين 30 و50% من حد بيتز (انطلاقا من سرعتها الاسمية طبعا).

3) **المولد الكهربائي ومضاعف السرعة:**

أ) المولد:
يمكن للمولد الهوائي أن يدير إما مباشرة أو بواسطة مضاعف للسرعة نوعين من المولدات الكهربائية:

- مولد بتيار مستمر (دينامو).
- مولد لاتزامني بتيار متناوب (منوب).

هذان العنصران يحولان الطاقة الميكانيكية: $Cu* 2\pi * n$ ، إلى طاقة كهربائية $U*I$.

Cu قوة محرك المولد الهوائي بـ نيوتن\متر :N.m
N وتيرة الدوارن :
I تيار ينتجه المولد تحت الجهد :U

أ) 1. المولد بتيار مستمر (دينامو):
تشتمل الآلة على جزئين:

- الدارة المغنطيسية (وشيعة ممغنطة) التي يتجلى دورها في خلق حقل وسط تفرجة الحديد: إنه المُحِث.
- التيار المُحَث الذي نلتقط فيه الطاقة الكهربائية المنتجة عن طريق دوارن الدوار الذي يديره المحرك الهوائي.

من أجل تجميع هذه الطاقة، يتوفر المحَث على مُجمع. بالنسبة لمجمع الدينامو المبسط، فإنه يتوفر على قطاعين منعزلين من 180 درجة. يوجد هناك فرشاتان متقابلتان مرتبطتان كل منهما بالقطاعين A و B، مما يسمح للتيار بالحفاظ على نفس الاتجاه عند استعماله. وفي الواقع، يتكون المجمع من عدة قطاعات مرتبطة بدورها بعدة موصلات. ولكن الدور يبقى نفسه: تمرير تيار في نفس الاتجاه عبر سيقان موصلة توجد تحت أحد القطبين.

إذا ما اعتبرنا هذا الدفق الذي تنتجه الوشيعة الممغنطة ثابتا (آلة متوازنة)، فإن التيار المنتج يكون نسبيا بالنسبة لوتيرة الدوران. وتكون العلاقة بين الجهد عند مربطي الآلة والتيار: U
حيث: $= E - R * I$

E القوة الكهربائية المحركة للدينامو :V
R مقاومة المِحث :Ω
I التيار المار في الشحنة :A

أ) 2. المولد اللامتزامن بتيار متناوب:
تشتمل الآلة على جزئين:

- المُحِث الذي يخلق حقلا مغنطيسيا داخل تفرجة الحديد. إنه **الدوار** الذي يديره المحرك الهوائي. ويكون إما:

- دوار مُوشَع يزوده مُجمعان: هذان الأخيران هما مستمران والتيار يدور فيهما دائما في نفس الاتجاه.
- أو دوار مكون من مغنطيس دائم، وهو ما يلغي وجود الفراشاتان والمجمعان.
- المحَث الذي نجمع فيه الطاقة، الذي ينتمي إلى الهيكل ومرتبط بمخرج التيار. إنه **الساكن** Stator . ويمكن أن يكون إما أحادي أو ثلاثي المراحل. بالنسبة للأخير فإنه يسمح بالحصلو على جهد متناوب قريب من التماوجي، أي مردودية أفضل.

إيجابيات وسلبيات:

يكمن العامل السلبي الأساسي للدينامو في وجود فحمات التماس والمجمعات التي ينبغي تفحصها باستمرار.
وفي المقابل، فإنه لا يحتاج إلى مكونات معقدة لتشحين البطاريات. فصمام ثنائي بسيط قادر على تحمل شدة تيار المولد الاسمية يكفي لتجنب وقوع دارة قصيرة للبطارية من قبل المحَث عند توقف المولد.
ويشكل المنوب، خصوصا إذا كان يعمل مع دوار مُحِث بمغنطيس دائم، إيجابيات عدة. إذ تنعدم ضرورة الصيانة فيه لغياب قطع تحتك فيما بينها. وبمقارنة أداءه بأداء مولد له نفس الطاقة الإنتاجية، فإنه أقل وزنا وتكلفة.
غير أنه يجب أن يدور بسرعة أكبر وأكثر استقرارا من المولد (عادة 3000 دورة\دقيقة) ويتطلب استعمال مقوم كهربائي عند شحن البطاريات. وبرغم هذه السلبيات، يبقى استعمال المنوب شائعا، إلا بالنسبة للمولدات الهوائية ذات الطاقة الصغيرة التي يكون فيها استقرار وتيرة الدوران غير كاف.

ونستعمل عادة منوبات ثلاثية المراحل بمغنطيس دائم.

4) **تحديد الأبعاد:**

أ) طريقة بسيطة لحساب الطاقة المنتجة:
كما في السابق، يمكن القيام بتقدير أولي للطاقة التي يمكن لمولد هوائي إنتاجها انطلاقا من المردودية الإجمالية للنظام والطاقة المتوفرة في الرياح:

$$Pe = \eta\ S\ P_v$$

حيث: Pe = معدل الطاقة الكهربائية المنتجة (بالواط)
η = المردودية الإجمالية.

تكون قيم المردودية الإجمالية عادة محصورة بين 0,1 و 0,3 حسب الآلة المستخدمة وطبيعة الرياح. ويمكن اعتبار القيمة المتوسطة 0,2 العدد الأكثر ملائمة. وتأخذ المردودية العامة بعين الاعتبار مردودية المروحة وقطع نقل الحركة والمولد، وكذلك الخسارات الناجمة عن خيوط التوصيل.

ويمكن تحديد الطاقة المنتجة بضرب الطاقة في الوقت:

$$E = Pe\ T/1000$$

حيث: E = الطاقة المنتجة (كيلواط\ساعة)
T = المدة (ساعات)

للحصول على الطاقة المنتجة الفعلية، يجب أخذ الخسارات في البطاريات بعين الاعتبار. فعادة تقدر مردودية البطاريات بين 75 و 80%، وعليه يكون من الأجدر استعمال مردودية إجمالية

(الآلة + التخزين) تقدر بحوالي 15%. وبعد التبسيط، نحصل على الصيغة التالية التي تعطينا مقدار الطاقة المنتجة:

$$E = 0,12\ D^2\ P_v\ T/1000$$

وكما هو الحال بالنسبة للمحركات الهوائية لضخ المياه، تكون الطاقة المنتجة نسبية لمربع قطر المروحة وقوة الرياح المتفرة.

مثال:

نعتبر مولدا هوائيا بقطر 5 أمتار، يعمل وسط محيط هوائي من 100 واط\متر مربع، ولمدة شهر كامل (720 ساعة). تقدر الطاقة الفعلية التي أنتجتها الآلة بالكيلواط في الساعة تقريبا:

$$E = 0,12\ (5)2\ 100/1000$$
$$= 220\ kwh$$

وبآلة بقطر 7 أمتار، سوف تكون النتيجة في حدود 420 كيلواط\ساعة.

من الملاحظ أن المردودية الإجمالية الصافية (قوة الريح\القوة الهيدروليكية المنتجة) لمولد هوائي وبطاريات تشغل محركا ومضخة (بمردودية 0,5) سوف تكون 0,06 عوض 0,12؛ أي تماما نفس القيمة المحصل عليها في مثال المحركات الهوائية متعددة الشفرات. غير أنه عند اللجوء إلى الضخ حسب قوة الرياح، فإن تفادي استعمال البطاريات وما يصاحبها من توصيلات يزيد من جودة المردودية الإجمالية التي تصل إلى حوالي 0,08.

وكما في حالة ضخ المياه، يمكن تحويل صيغة القاعدة التي تعطينا مقدار الطاقة من أجل إيجاد تقدير لحجم الآلة المناسبة انطلاقا من الحاجيات النظرية:

$$D = (E\ 1000/\ (0,12\ P_v\ T))^{½}$$

وكما هو الحال بالنسبة لمحركات الهواء الخاصة بالضخ، تكون المرودودية الإنتاجية تقريبة فقط. إذ تتوقف قيمتها على خصائص الآلة ومردودية المروحة واختيار المولد تبعا لأبعاد المروحة.

ب) <u>طريقة مفصلة لحساب الطاقة المنتجة:</u>

يمكن القيام بحسابات أكثر دقة بإدماج منحنى طاقة معينة للمولد الهوائي في توزيع معين للرياح. ويمكن الحصول على منحنى للطاقة المنتجة لآلة ما عند الصانع، أو من الأفضل، انطلاقا من نتائج التجارب التي أجريت على آلة تعمل في موقع ما.

ويمكن إدماج هذه المنحنيات على كافة توزيعات الهواء، باستعمال الصيغة التالية:

$$E = (T/1000) \sum_{i=1} p_i\ (v)\ f_i\ (v)$$

حيث: $P_i\ (v)$ الطاقة عند v_i =

$f_i\ (v)$ وتيرة سرعة الرياح v_i =

ويمكن القيام بهذا الإدماج على مقاطع باستعمال قيم الطاقة ووتيرة التردد بفاصل قار من 1 متر\ثانية. بعد هذا الإدماج، يجب ضرب النتيجة في مردودية البطاريات من أجل الحصول على الطاقة الفعلية.

5) صيانة وإصلاح المولدات الهوائية:

تشمل الصيانة السنوية للمولدات الهوائية العمليات التالية:

1. تفقد كافة أجزاء الآلة جيدا.
2. التأكد من التشغيل الجيد لكافة مكونات الآلة.
3. التزييت والتشحيم.
4. الإصلاحات الصغيرة.

1. تفقد كافة أجزاء الآلة جيدا

- **العامود:**

- فحص قطع العامود والسلم (هل توجد هناك قطع ناقصة؟)
- التأكد من تثبيت الحلزونات إن كان الأمر يتعلق بعامود بلوالب (هل هناك لوالب ناقصة؟)
- فحص أسس العامود.
- فحص الأسلاك ومثبتاتها والمَدادات، إذا كان الأمر يتعلق بعامد مشدود.
- فحص جهاز الكبح اليدوي.
- التأكد من شاقولية العامود (فادن ومسواة)
- فحص حالة النظام "كبح الانهيار" STOP CHUTE إن وجد.
- فحص حالة ممتص الصواعق.

- **المروحة:**

- فحص حالة الشفرات (مرونة، تثبيت، زاوية الميلان).
- التأكد من أفقية محور دوارن المروحة (جذع المروحة، القب).
- فحص حالة كافة قطع الدفة.

- **المولد:**

- تفقد موضع المولد (إحكام سده).
- التأكد من إحكام تثبيت كل من المروحة والمولد على العامود.
- التأكد من إحكام تثبيت المروحة على القب.
- فحص الكارتر (الغطاء) وحالة المدرجات (تخلخل، تقادم، ضجيج).
- التأكد من تثبيت الدوار على المولد.
- فحص الأسلاك الكهربائية (توصيلات، عزل).
- فحص حالة المجمعات أو الفرشات على مستوى المنوب إن وجدوا (استبدالهم في تلك الحالة).
- فحص جهاز الكبح الآلي.
- فحص حالة نظام مضاعفة السرعة أو مضاعف السرعة، إن وجد (تغيير الزيت، حالة التروس أو سير نقل الحركة).

2. **التأكد من التشغيل الجيد لكافة مكونات الآلة:**

- فحص أجهزة التحكم والضبط والقياس.
- فحص حالة تشغيل الأجهزة الموصولة بالمولد الهوائي:

- في حالة تشحين بطاريات التخزين.

- قطع توصيل كل بطارية على حدة ثم قياس فلطيتها وكثافة المحلول بها، إضافة الماء المقطر إن كان غير كاف، تنظيف وتشحيم حلقات توصيل البطاريات.
- فحص حالة تشغيل منظم الشحنة وفقدان الشحنة.
- فحص حالة كافة الأجهزة الموصولة (مصابيح، تلفاز، ثلاجة، أو غيرها...).

- في حالة ضخ الماء:

- فحص المحرك والمضخة (حالة المدرجات، الأسلاك، إحكام السد...).

- فحص نظام العوامة، الذي يسمح بتوقيف محرك المضخة عندما تصبح المصفاة فوق مستوى الماء.
- القيام ببعض تجارب ضخ الماء تبعا للسرعة المرياحية.

3. **التزييت والتشحيم:**

- تفريغ مضاعف السرعة، ثم تنظيفه بزيت الوقود أو الكيروسين.
- تشحيم كافة القطع التي تحتوي على الشحم (مضخة تشحيم).
- تشحيم المدرجات إن لم تكن مشحمة بشكل نهائي أو استبدالها.

- تزييت محور مدار الدفة.

4. **الإصلاحات الصغيرة:**

يمكن لبعض أعمال إصلاح وأو استبدال الأجزاء المعطلة أن تطرأ من حين لآخر، وذلك من أجل الحفاظ على مختلف مكونات الوحدة في أحسن ظروف التشغيل، كما صممت له في البدء.

5. **لائحة العناصر الضرورية لصيانة وإصلاح المولدات الهوائية:**

الأدوات:

- مفتاح ربط متعدل
- مجموعة ملاقط
- ملقط متعدد الأغراض
- ملقط قاطع
- ملقط ملزم
- ملقط للتعرية
- مجموعة مبارغ
- مسواة
- فادن
- مطرقة، مطرقة بناء
- فرشاة حديدية
- منشار معادن
- مفتاح بكماشات

- معدن اللحام

أدوات القياس:

- آلة قياس شاملة
- مقياس واط ساعي
- مقياس الكثافة (لقياس كثافة محلول البطاريات)
- عداد سرعة الدوران (عدد الدوارت\الدقيقة)
- مسبار (لقياس الأعماق)

التجهيزات:

- حزام السلامة
- خوذة
- قفازات
- حذاء ورشة
- كيس أدوات
- دلو معدني أو بلاستيكي
- صفيحة زيت
- مضخة شحم
- مشد أو ملفاف
- عدة لحام مع قناع واق

معدات:

- شحم
- زيت
- كيروسين
- صباغة
- تشكيلة لوالب، حلزونات، حلقات.
- صهائر
- صمامات ثنائية
- ماء مقطر (للبطاريات)

قطع غيار:

من الضروري جدا توفر مخزون من قطع الغيار الخاصة بالعناصر المتكررة الأعطاب في عين المكان، للتمكن من إصلاح العطب أو أثناء القيام بعملية صيانة.

خـــاتمة:

بما أن كل آلة تتوفر على إرشادات الاستعمال الخاصة بها فيما يخص الصيانة والإصلاح، فإنه من الضروري عند القيام بعملية صيانة و\أو إصلاح، مراجعة دليل الاستعمال والصيانة، المسلم من طرف الصانع.

تختلف مصاريف الصيانة والإصلاح حسب حجم ونوع وخصائص النظام. فهناك آلات بسطية جدا يكون فيها الإصلاح محدودا، وهناك أخرى أكثر تعقيدا يكون فيها مستوى الصيانة عاليا.

وفي جميع الأحوال، يجب أن تتم عملية الصاينة والإصلاح تبعا لتوصيات وتوجيهات الصانع.

مراجع

ELDRIDGE, F.R.	Wind Machines Nationl Science Foundation USA, 1985
GOLDING, E.W.	The Generation of Electricity by Wind Power Spon Ltd, London, 1986
PUTNAM	Power From The Wind Van Nostrand, N.Y., 1988
CDER - MAROC	L'Energie Eolienne au Maroc, Gisement et Dimensionnement, 1986
G. Cunty - EDISUD	Eoliennes et Aérogénérateurs, Guide de l'Energie Eolienne, 1980
CDER - MAROC	Le gisment Eolien du Maroc, 1995