

### 3-VÝPOČET

Prichádza tá najdôležitejšia časť a to návrh vrtule, pohonu ktorý bude tým alternátorom točiť. Ale ani tá vrtuľa nie je to najdôležitejšie. Hlavné je aby to bolo ideálne spasované dohromady. Ako vrtuľa tak aj alternátor sú na jednom hriadeľi a vždy majú rovnaké otáčky a tak v žiadanom prípade nesmú jeden druhého obmedzovať.

Základom celého návrhu je priemer vrtule. Ním sa definuje zametaná plocha, teda množstvo vzduchu, z ktorého budeme energiu odoberať. Viac to už nedá nech by sme robili čokoľvek, rozumej ohýbali listy, bez dôvodu menili počet listov či zakrivovali lopatky či hľadali nejaký zázračný profil. A treba si uvedomiť, že to je jeden jediný údaj ktorý zvolíme úplne slobodne a závislo iba na svojich potrebách.

Základným omylom je keď výkon vrtule odvodzujeme od menovitého výkonu generátora a vtedy sa zdá že čím viac tým lepšie. Omyl! To by sa dala výkonnosť energetiky riešiť zvyšovaním menovitého výkonu a príkon, čiže zdroj by bol nepodstatný (Vo výpredaji sú 220MW generátory z atómkov V1)! Naopak, základom je zdroj, teda vietor a ten prichádza z predného konca hriadeľa. A nejaká regulácia odvodená od generátora je nezmysel. Zaprvé u generátora s konštantným budením permanentnými magnetmi nie je čo regulovať a za druhé ten musí produkovať čo najviac z toho čo príde.

Ja tu budem pracovať s priemerami vrtúľ 1,8 a 1,2 metra. Tá väčšia vrtuľa môže slúžiť ako doplnkový zdroj pre malé slárne systémy a môže ho výdatne podporiť v chladnom polroku. Tá menšia bude pre pokrytie minimalistických potrieb, ako napríklad udržiavanie akumulátorov proti hlbokému vybitiu, pokrytie spotreby pre komunikáciu alebo skutočne na osvetlenie cestičky k záhradnému jazierku, aby sa na nej niekto nedajbože neprizabil.

Všetky ostatné údaje, ktoré dosadíme do ďalších výpočtov už budú podmienené snahou o maximalizovanie účinnosti celého stroja. K tomu musíme vypočítať základný parameter turbíny, a to takzvanú rýchlobežnosť  $X$ . Je to bezrozmerné číslo a vyjadruje pomer medzi obvodovou rýchlosťou konca listu vrtule a rýchlosťou vetra pred vrtuľou.

$$X=2\pi *R*N0/Vo$$

Kde:

R-polomer vrule

$N0$ -počiatočné otáčky kedy vrtuľa začne nabíjať  $N0$  (1/sek)

$Vo$ -rýchlosť vetra pri ktorých vrtuľa dosiahne otáčky  $Vo$  (m/s)

Táto rýchlobežnosť nás bude ďalej prenasledovať pri každej príležitosti tak, že potrebný parameter musíme podľa možnosti zvoliť tak, aby vrtuľa mala čo najvyššiu účinnosť. Ak by sme tam dosadzovali parametre len tak od oka, veľmi rýchlo by sme sa dostali mimo rozumných čísiel, rozumej mimo vyššej účinnosti. Teda k veľmi nízkej. Akoby sme ani nič nepočítali.

Na výpočet používam počítačový program napísaný v jednoduchom interpretri Qbasic (Quick Basic). Dá sa stiahnuť z internetu, editovať „Poznámkovom bloku“ a priemerne skúsený gymnaziata by ho mal zvládnuť, prípadne nájsť si pomocníka. Prikladám ho tu na MYPOWER pod názvom **KUTIL.bas**.

$Vo$  výpočte sú zakomponované údaje pre profil CLARK-Y. Pre iné profily ich treba prepísať ich data podľa ich vztlakovej čiary. Mám ešte aj verziu pre profil NACA 0015, ale to je pre VAWT.

Ten výpočet je ale pomerne zložitý a ručné počítanie by zabralo veľa času, začiatočníkovi by to zobralo aj celý deň. Počíta sa tam aj rýchlosť vetra v rovine rotácie vrtule, ktorá je vplyvom zbrzdzenia vzduchu a rozšírením prúdnic menšia ako rýchlosť vetra pred vrtuľou, ktorú zadávame v úvode výpočtu.

Na úvod prikladám výpis z programu z výpočtu pre vrtuľu Ø 180cm. Je trochu zeditovaný, hlavičky stĺpcov sú posunuté nad stĺpce a niektoré veličiny sú vyznačené farebne. **Zelenou** sú označené údaje ktoré vkladáme v jednotlivých stupňoch výpočtu ručne. **Červenou** hodnoty ktoré vypočíta program a **magentou** údaje pre náčres **listov** vrtule pre step=0,15(m). riadky 630 a 820 programu.

VYSTUPNY SUBOR=183.txt

```

-----
| V Y P O C E T   V R T U L E |
-----
Rychlost vetra[m/s] V0=    3.5
Polomer vrtule [m]   R=    .9
Polomer stredu [m]  rs=    .3
Pocet listov  [ ]   K=     3
Sucinitel vztaku[ ]Cy=   .5
Sucinitel odporu [ ]Cx=  .015
Otacky (pri V0)[1/s]N0=   3
Rychlobeznost la=      4.847028
B-SUCINITEL(Z TAB.) B=   .2
mi =    0.0300
psi =   0.3333
la =    4.8470
bs =    0.1200
| p | D | A | gama' | G | V1' | V0' | ni | omega | n |
| 2.0 | 24.733 | 0.0490 | 8.086E-03 | 0.0326 | 0.1279 | 0.1917 | 0.433 | 20.29 | 193.76 |
| 2.1 | 24.713 | 0.0524 | 8.093E-03 | 0.0326 | 0.1343 | 0.1950 | 0.435 | 19.94 | 190.41 |
| 2.2 | 24.693 | 0.0557 | 8.100E-03 | 0.0327 | 0.1403 | 0.1985 | 0.435 | 19.59 | 187.07 |
| 2.3 | 24.673 | 0.0591 | 8.106E-03 | 0.0327 | 0.1461 | 0.2021 | 0.434 | 19.25 | 183.79 |
P=    2.2
| 2.2 | 24.693 | 0.0557 | 8.100E-03 | 0.0327 | 0.1403 | 0.1985 | 0.435 | 19.59 | 187.07 |
| r' | r | U1' | W1' | beta1 | b0' | b | fi0 | W1 | Re |
| 1.00 | 0.90 | 1.0081 | 1.0178 | 7.92 | 0.1333 | 0.1200 | 8.27 | 17.945 | 1.507E+05 |
| 0.83 | 0.75 | 0.8431 | 0.8547 | 9.45 | 0.1588 | 0.1429 | 9.80 | 15.069 | 1.507E+05 |
| 0.67 | 0.60 | 0.6788 | 0.6932 | 11.68 | 0.1958 | 0.1762 | 12.03 | 12.221 | 1.507E+05 |
| 0.50 | 0.45 | 0.5162 | 0.5349 | 15.21 | 0.2537 | 0.2283 | 15.56 | 9.431 | 1.507E+05 |
| 0.33 | 0.30 | 0.3576 | 0.3842 | 21.42 | 0.3532 | 0.3179 | 21.77 | 6.773 | 1.507E+05 |
SIRKA PRI KORENI B0=    .25
| r' | r | b' | b | U1' | W1' | beta1 | cy | alfa | fi |
| 1.00 | 0.90 | 0.1333 | 0.1200 | 1.0081 | 1.0178 | 7.924 | 0.50 | -0.348 | 8.272 |
| 0.83 | 0.75 | 0.1694 | 0.1525 | 0.8431 | 0.8547 | 9.450 | 0.47 | -0.656 | 10.106 |
| 0.67 | 0.60 | 0.2056 | 0.1850 | 0.6788 | 0.6932 | 11.680 | 0.48 | -0.581 | 12.261 |
| 0.50 | 0.45 | 0.2417 | 0.2175 | 0.5162 | 0.5349 | 15.208 | 0.52 | -0.104 | 15.312 |
| 0.33 | 0.30 | 0.2778 | 0.2500 | 0.3576 | 0.3842 | 21.424 | 0.64 | 0.984 | 20.440 |

```

Ale pre názornosť začneme ručne a vypočítame si šírku listu pre vrtuľu Ø 180 cm na špičke podľa vzťahu

$$B_s = B \cdot R / C_y \cdot k$$

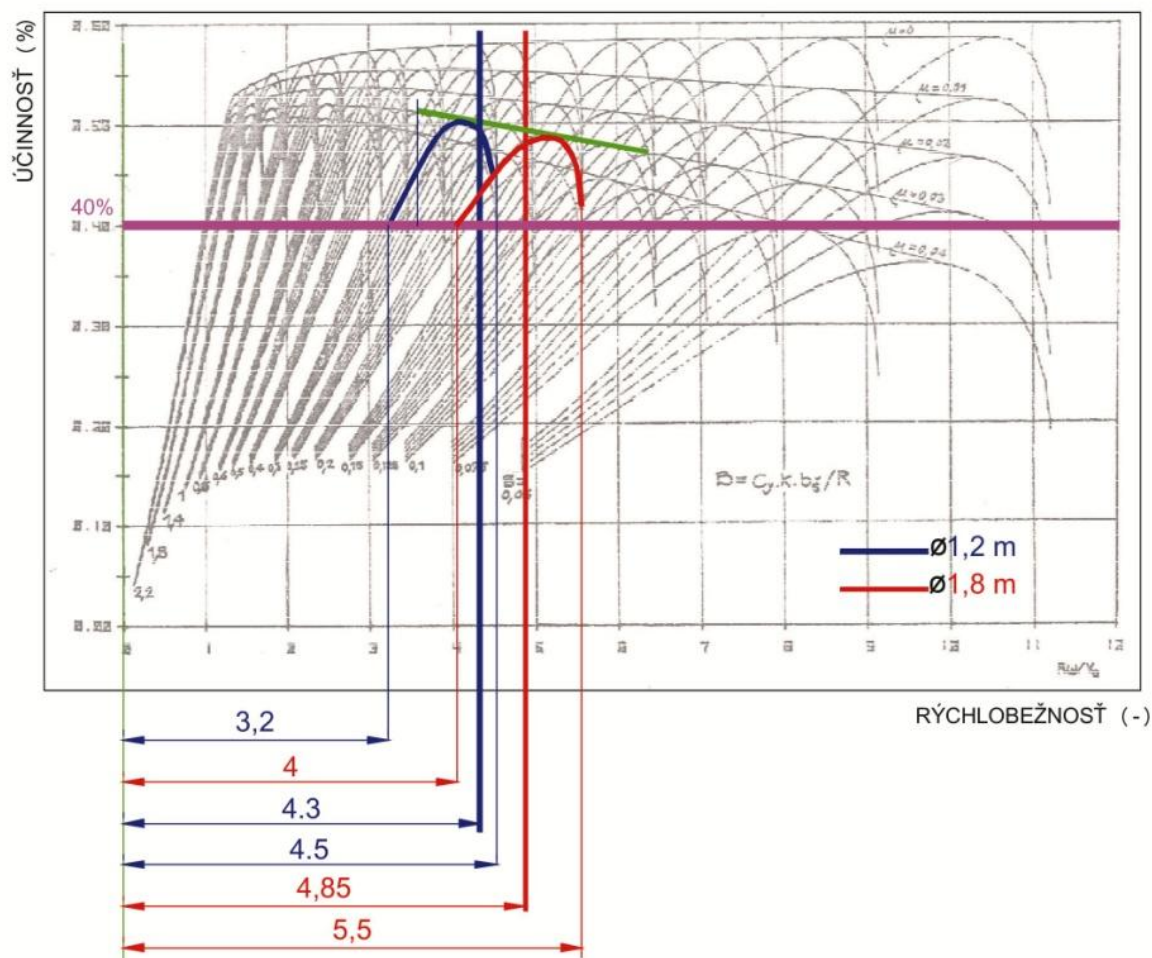
Teda  $B_s = 0,2 \cdot 0,9 / 0,5 \cdot 3 = 0,12$  metra,

Pre vrtuľu Ø120 cm to vyjde rovnako.

Potrebuje tu však dva neznáme údaje a to „B“ a  $C_y$ .

Prvý získame z nasledujúceho grafu „Graf účinnosti vrtule“ alebo tiež za účelom tohto programu nazývaného koef. „B“.

## GRAF ÚČINNOSTI VRTULE (koef. "B")



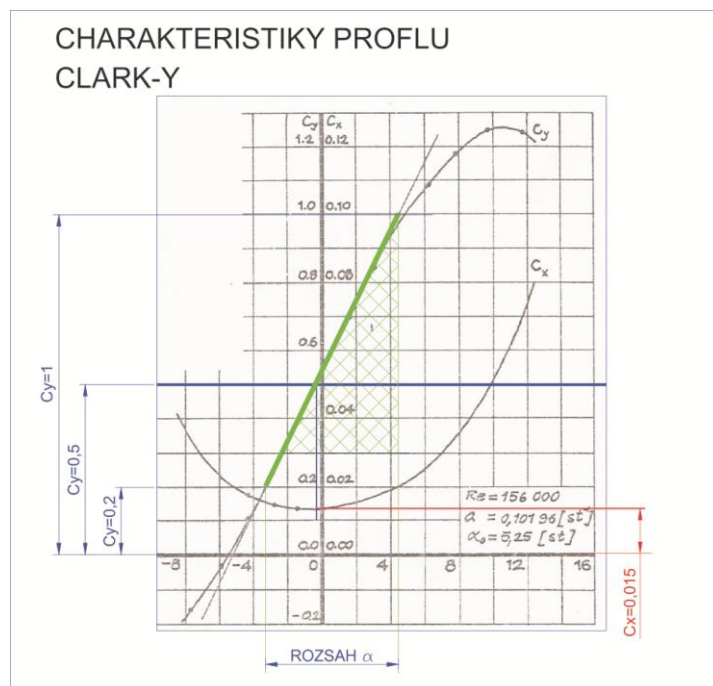
Sú tam znázornené účinnosti vrtúľ v závislosti na rýchlobežnosti. Tú som zvolil pomerne nízko, pre väčšiu vrtuľu X=4,8, pre menšiu X=4,3. Nízka rýchlobežnosť znamená väčšiu plnosť (pomer zametanej plochy k ploche listov). A plnosť znamená vyšší moment pri rozbehu, o čo nám práve ide, ak chceme aby sa vrtuľa rozbiehala aj pri slabých vetroch (rozumej okolo okamžitej rýchlosti vetra 3,5 m/s).

Z grafu je vidieť, že ak sa uspokojíme s účinnosťou do 40 % bude rozpätie rýchlobežností pre vrtuľu  $\varnothing 180$ cm (červená krivka) od  $x=4$  do  $x=5,5$ . V praxi to znamená že zmena rýchlosti napríklad vyšším zaťažením vrtule nebude mať na účinnosť nejaký extrémne prudký vplyv, ale vrtuľa to v týchto medziach pomerne hladko absorbuje.

Poznámka: Krivka účinnosti je v maxime obmedzená koeficientom „ $\mu$ “ (zelená priamka), čo je pomer medzi koeficientom odporu profilu ( $C_x$ ) a koeficientom vztlaku ( $C_y$ ). Tento pomer závisí na presnosti a kvalite profilu. Hodnota=0,03 je pre dobré vyhotovenie, ale aj 0,04 je prijateľná.

A tu sa dostávame k ďalšiemu grafu. List vrtule má profil, ktorý je základom celej aerodynamiky vrtule. Ja som zvolil svetoznámy klasický profil „CLARK Y“. Jeho charakteristiky sú na nasledujúcom grafe.

Tento graf je alfa a omega výpočtu veterných turbín všetkých veľkostí. Nevieť ako si bez neho počínali tí čo navrhovali vrtule len tak od oka s použitím „poučky“, že „...uhol skrútenia listu býva na špičke 5 až 10 stupňov...“ alebo tí čo použijú vrtuľové listy od alibabu, ktoré o aerodynamike ani neslýchali.



#### Prečo CLARK-Y?

Ved' to nie je žiadny zázračný profil s nejakými bomba parametrami ani ho nevypočítal počítač. Nuž základom voľby je že má rovnú spodnú stranu čo sa hodí pri výrobe ale najmä preto, že je sú o ňom známe všetky údaje. A je pomerne konzervatívny čo znamená že znesie aj malé nepresnosti v tvare. Zoberme na vedomi amatérsku výrobu a obmedzené možnosti merania. Tu si môžeme dovoliť v plošných rozmeroch úchylku  $\pm 1$  cm a v reze úchylku  $\pm 1$  cm. A pri ručnej výrobe to je cieľ dosiahnuteľný len ťažko, ak vôbec. Počítačové profily ako napríklad Eppler by také úchylky nezniesli. A keď sa pozrieme na čínske vrtule ktoré sú na trhu je toto skôr aerodynamický zázrak !

Pracovné rozsah súčiniteľa vztlaču  $C_y$  volím uprostred rozsahu 0,2 až 1 tak aby sa pohyboval v lineárnej časti tejto charakteristiky a pri zmenách prevádzkového režimu neprekročil hranicu, kedy sa prúdenie vzduchu „odtrhne“ a profil začne podstatne viac brzdiť ako „ťahat“. Pri korekcii šírky lopatky vrtule pri koreni sa posunie tiež len v prijateľnom rozsahu.

Hodnotu „P“ v prvej sérii stĺpcov zadáme podľa výsledku v poslednom stĺpci, ktorý sa najviac približuje návrhovému „Vo“. V tomto prípade je jeho hodnota **2,2** a otáčky  $n=187,7$  (ot/min). Je to údaj ktorý charakterizuje veternosť miesta pre ktoré je vrtuľa navrhnutá. Zároveň je to kontrolný údaj, že sme koeficient „B“ navrhli správne.

V ďalšom poslednom diele budú výkresy vrtúľ aj vysvetlenie všetkých aspektov, ktoré majú vplyv na funkčnosť, účinnosť a bezpečnosť turbíny tak, ako som ich aplikoval na svojom „stroji“ RENEN160.

V Trnave 37.12. 2019

**Ernest Ježík**

**Nezávislý konzultant pre veternú energetiku**

**e-mail: [renen.cons@stonline.sk](mailto:renen.cons@stonline.sk)**

**<http://www.male-veterne-turbinky.sk/>**

**0907 522 148**

**Odborne spôsobilá osoba pre posudzovanie v procese EIA:**

**<https://www.enviroportal.sk/sk/eia/sposobile-osoby>**