

NEZMYSLY a DOBRÉ RADY

Tento článok reaguje na jednu diskusiu a „odborné rady“, ktoré z nej vyplynuli. Typický príbeh, keď „poradca“ rozdáva diletantské rozumy, ktoré by čo len trochu orientovaného amatéra ani nenapadli a odborník by sa na nich z chuti pobavil.

Diskusia a výmena „skúseností“ dvoch diletantov ktorí si vzájomne vymieňajú „informácie“ prináša obrovskú inšpiráciu. Úryvky z diskusie sú vyznačené červeným písmom.

1. Tak isto je to s uhlom nábehu (AoA). Ja som ho nastavil pri testovaní. Nevie ho zmerať, lebo je ťažké určiť os profilu. U spomínaných symetrických profilov sa hovorí o uhle cca 8 stupňov. U mňa to určite nie je 0, ale je to tiež menej ako 8.... Inak, pri rôznych priemeroch turbíny sa krídla môžu chovať inak. Vhodné AoA nemusí byť rovnaké pre rôzne priemery. Tu sa nedá povedať nič iné, len že treba testovať a testovať. Je to problém, ak nie je veterný tunel... :-) Je potrebné urobiť uchytenie krídel tak, aby sa dalo nastavovať AoA.

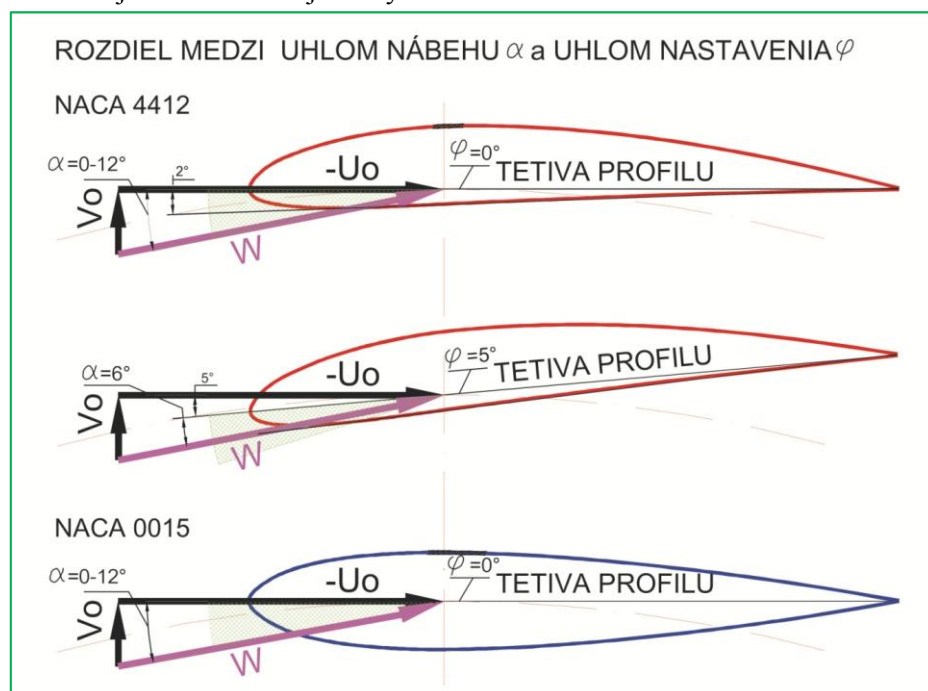
ODPOVEĎ 1

ČO TO VLASTNE NASTAVUJEME?

Najprv si treba ozrejmiť základné fakty! Ten najväčší omyl spočíva v tom, že uhol nábehu AoA (Angle of Attack), zvyčajne značený α sa tu zamieňa za uhol nastavenia profilu, ktorý sa značí φ . Uhol φ je u VAWT konštantný, v prípade použitia symetrického profilu je vzhľadom k dotyčnici kružnice po ktorej obieha krídlo VAWT ideálne ak je rovný 0 (nula) stupňov, teda tetiva profilu leží na dotyčnici obežnej kružnice.

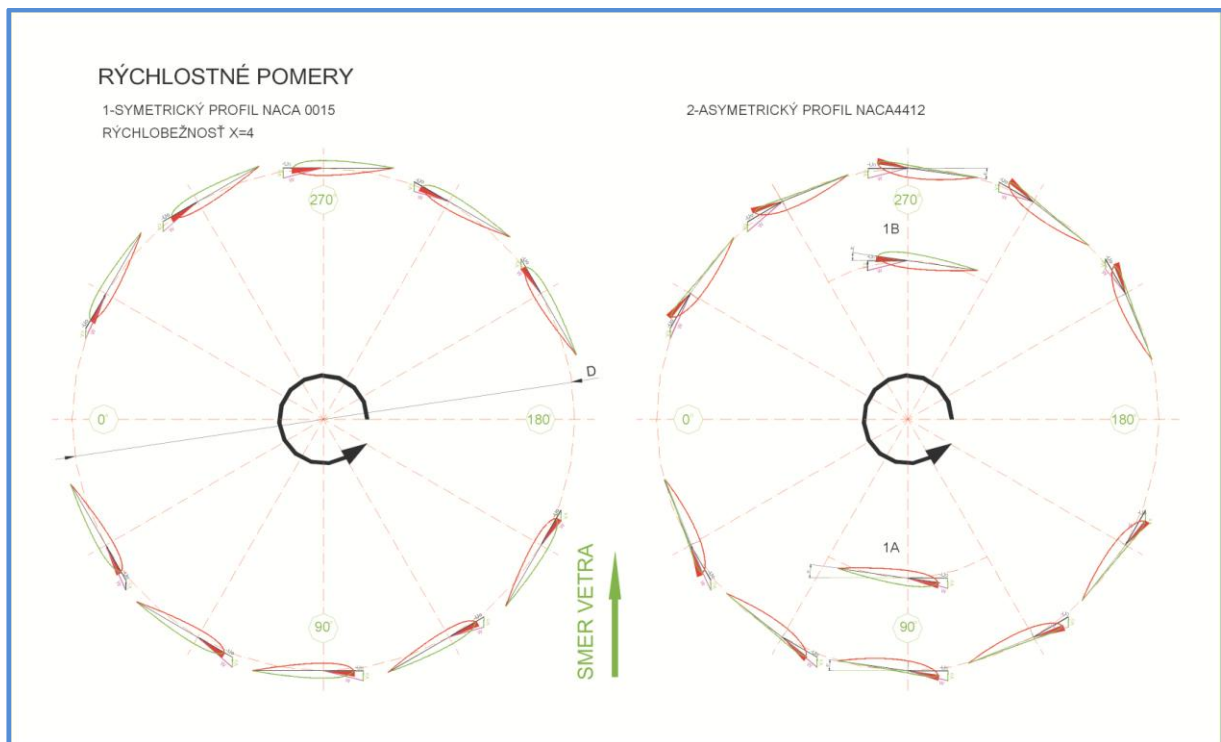
AoA (α) je uhol medzi vektorom relatívnej rýchlosti W a vektorom obvodovej rýchlosti krídla U_o . Tento uhol sa u VAWT mení počas celej otáčky krídla a nedá sa (pravítkom) zmerať. Na obr. dolu sú znázornené základné polohy krídla s asymetrickým aj symetrickým profilom.

Prakticky teda nastavujeme polohu krídla tak, aby bol uhol nábehu v priaznivom rozmedzí pomeru súčiniteľa odporu C_D / C_L . Pri väčšine profilov sa súčiniteľ vzlaku pohybuje v rozmedzí od 0,4 do cca 1, teda v lineárnej časti vzlakovej krivky.



PRIEBEH OTÁČKY

Na ďalšom obrázku vidíme, ako sa v priebehu jednej otáčky rotora menia rýchlostné a silové pomery. Vľavo je stav s symetrickým profilom, vpravo s asymetrickým. Zatiaľ čo symetrický profil sa chová rovnako pri ofukovaní z obidvoch strán, akoby sa pri prechode do zadného poloválca „otočil“, pozri polohy 90 a 270 stupňov pre symetrický profil NACA0015. Profil je v náveternom polválci ofukovaný zo strany označenej zelenou farbou, v zadnom polválci vietor fúka na plochu vyznačenú farbou červenou.



VHODNÝ a NEVHODNÝ REŽIM

Ak vektor relatívnej rýchlosti (fialová šípka) prechádza cez trojuholník, znázorňujúci optimálny rozsah uhlov nábehu pre daný profil (na obrázku vyplnený červenou farbou), je to stav vhodný, vtedy profil pracuje s vysokou účinnosťou s vysokým pomerom C_D/C_L .

PROFILOVÉ STRATY

Profilové straty v účinnosti vrtule závisia najmä na súčiniteli μ , čo je ten Je pomer C_D/C_L . snažíme sa vždy o čo najmenšie číslo, teda aby pri požadovanom vztlaku bol čo najnižší odpor, ale v praxi malých amatérskych vrtúľ sa pod hodnotu nižšiu ako 0,03 nedostaneme jednak preto, že profily viac nedovolia a jednak preto, že ich ťažko vyhotovíme úplne presne, navyše sa prejaví aj nestabilné prúdenie v lokalitách s turbulenciami. A malé stroje navrhované od oka majú aj μ tak nejako od oka alebo neviem od čoho, možno aj o rád vyššie. Aj veľké stroje, ktoré majú tetivy profilov viac ako desaťkrát dlhšie sa pod hodnotu $\mu = 0,02$ dŕžávajú len málokedy.

Ak však vektor relatívnej rýchlosti W prechádza mimo tento rozsah optimálnych uhlov nábehu, na profile sa odtrhne prúdenie a prejde do neúčinného či dokonca brzdiaceho, teda nevhodného režimu. Príkladom je porovnanie symetrického a nesymetrického profilu. Ak je symetrický profil nastavený na uhol $\varphi = 0$ stupňov, chová sa v obidvoch polválcoch rovnako. Ak ho však nastavíme na $\varphi = 8$

stupňov, tak v náveternej polohe (Pozícia 1A obrázka, vpravo) bude pracovať dobre, ale v protíľahlej polohe to bude oproti nulovému nastaveniu o niečo horšie, vždy však lepšie ako pri nesymetrickom profile.

Iste, rotor sa točí aj vtedy, ale za cenu zvýšeného profilového odporu a vďaka práci ostatných krídiel. Ak by bol uhol φ nastavený fixne dajme tomu na 8° od dotýčnice polomeru rotora, bude sa chovať nasledovne: V náveternej polohe 90° označenej 1A sa bude tak chovať ako pri HAWT, ale tu sa po otočení o pár stupňov sa začne dostávať do nepriaznivej polohy, a v polohe 270° stupňov označenej 1B bude pôsobiť ako brzda. Ak to bude profil nesymetrický v záveternej polohe to bude brzdiť výrazne, symetrický naopak bude pracovať skoro ako v polohe náveternej.

V prípade použitia asymetrického profilu sa situácia podstatne zmení k horšiemu. Na obrátku hore vpravo je príklad použitia asymetrického profilu NACA4412, otočeného proti vetru spodnou vydutou stranou.

Je už osvedčená prax a fakt, že ideálny profil krídla pre VAWT je symetrický, a to nie je iba vec názoru, ale osvedčených faktov. V prípade že sa krídlo nachádza na náveternej strane je ofukovaná jedna strana profilu (na obr. hore znázornená zelenou farbou), po prechode na záveternú stranu je ofukovaná červená plocha krídla. Symetria profilu zabezpečí rovnaké aerodynamické pomery na celej obežnej kružnici. Akoby sa ten profil otočil. Teda približne rovnaké pomery, pretože na záveternej strane valca je rýchlosť vetra znížená tým, že vietor sa už zbrzdil na náveternej strane. Samozrejme že to bude ako tak fungovať aj asymetrickým profilom, ale s ešte biednejšou účinnosťou a zvýšenou hladinou hluku.

Symetrický profil je pre VAWT jednoducho ideálny a jeho použitie je mimo diskusie. Ak ale použijeme náhodne vybraný asymetrický profil tak nám k negatívam intuitívne koncipovaného návrhu pribudnú ďalšie, úplne zbytočné.

2. Počet krídel - čím menej, tým lepšia účinnosť, vyššie otáčky ale aj nižší krútiaci moment a teda aj horšia rozbehovosť. Niektorí prišli na to, že optimum bude 3. Platí to pre HAWT, a u VAWT asi tiež. Ale sú úspešné aj 4 krídla. 5 krídel je bežných pri veľkých priemeroch. Nemyslím si ale, že 3 sa vyvažujú horšie ako 4.

ODPOVEĎ 2

Počet krídiel je odvodený predovšetkým od rýchlobežnosti X , čo je základný návrhový parameter každého veterného pohonu. Počet listov či krídiel pre stredne rýchlobežné stroje v rozsahu rýchlobežnosti 4 až 6 pri správnom profile a technicky správnej koncepcii vyjde na 3 kusy, pri rýchlobežnosti nad 6 stačia dve krídla. Väčší počet krídiel ako 2 až 3 by sa mohol vyskytnúť v špecifických prípadoch veľmi pomalobežného hnaného stroja. Takými to sú napríklad veterné čerpadlá, kde je často počet krídiel niekedy väčší ako 10 až 12 kusov. 4 až 5 krídiel sa u väčších strojov používa len pri historických veterných mlynoch.

Pripomínam, že v prípade ako Jimmyho stroj, ktorý používa asymetrický profil NACA4415 situovaný tlakovou (vydutou, spodnou) stranou proti smeru vetra vzhľadom k extrémne vysokému brzdiacemu účinku pri prechode cez záveterný poloválec sa u tejto VAWT nebude dať dosiahnuť rýchlobežnosť viac ako 2 akýmkoľvek „štelovaním“ uhla φ ani laborovaním s polomerom rotácie. Ak má rotor s priemerom 1,1 metra pri rýchlosti vetra 5 m/s iba 130 otáčok/min a teda rýchlobežnosť je 1,5, tak mi teda nenapadá nič jednoduché čo by ju zvýšilo na požadovanú hodnotu 3-4 (v obrázku hore je rýchlobežnosť 4, u nižších X je to vždy horšie, teda ako výkon tak aj brzdiace účinky). Určite

má pripravený alternátor, ktorý začne nabíjať pri vetre asi 4 m/s, teda pri cca 100 otáčkach a je dobre zladený s pohonom. Ak taký alternátor nemá a pokúsi sa o alchýmiu s „MPPT regulátorom vo „Wind mode“, tak sa dostane do nových problémov, ktoré spolu s nízkou účinnosťou pohonu bude znamenať stratu výkonu najmä pri slabých vetroch.

„Rozbehovosť“ stroja je špecifický problém. VAWT vždy majú problém s rozbehom pri nízkych rýchlostiach vetra, čo sa niektorí snaživci snažia kompenzovať použitím tzv. „bezjadrového“ (alebo tiež „amerického“) alternátora, ale potom sa dostanú do problémov zapríčinených týmto generátorom, teda predovšetkým vysokou hmotnosťou a hlavne nízkou účinnosťou, čo spolu s nízkou celkovou účinnosťou celú koncepciu degraduje.

A to že 5 listov je bežných pri veľkých priemeroch je dych vyrážajúca informácia. Na svete sú už inštalované stovky tisíc skutočne veľkých HAWTs priemerom vrtúl cca 80 až 100 a viac metrov, ale ja som ešte iné ako trojlistové nenašiel, a o tých 5 listových vie možno len samotný autor.

3. Solidity asi 0,2. Čím väčší priemer turbíny, tým viac krídel alebo širší profil.

ODOVEĎ 3

Opäť hrubé skreslenie. Počet krídel turbíny alebo šírka profilu zase záleží len na rýchlobežnosti v spojitosti s charakteristikou použitého profilu a charakteristikou hnaného stroja.

- 4. Uzavretie koncov listov "čiapkami" ako píšeš, má zvýšiť výkon preto, lebo prúdenie vzduchu pri koncoch krídel nemôže sklznúť do strany. Hovorí sa o 5, alebo viac percentách. Som ochotný tomu veriť. Nikdy som to ale neporovnával - bez a s.**

ODOVEĎ 4

„Dosky“ na koncoch krídel majú znižovať indukovaný odpor, tvorený vírom vznikajúcim pri vyrovnávaní tlakov medzi hornou podtlakovou plochou krídla a spodnou stranou. V letectve sa lichobežníkové či eliptické krídlo ukončuje tzv. „kvapkou“, moderné dopravné lietadlá tam majú tzv. „Winglety“. Pri „doskách“ sa indukovaný odpor neodstráni, iba prevedie na iné formy vírov a jeho zníženie o badateľnú hodnotu je diskutabilné. Pri krídle VAWT, ktoré pracuje v smerovo nestabilnom prostredí sa v prípade vertikálnych poryvov tieto „dosky“ chovajú ako ďalšie brzdy, akoby tých iných bŕzd už nebolo dosť. Z hľadiska pevnosti tieto dosky zvyšujú hmotnosť letmo uchytovaných koncov krídel a tým prispievajú k ich kmitaniu, ktoré je u VAWT indukované samotnou koncepciou a zvyšuje únavové namáhanie.



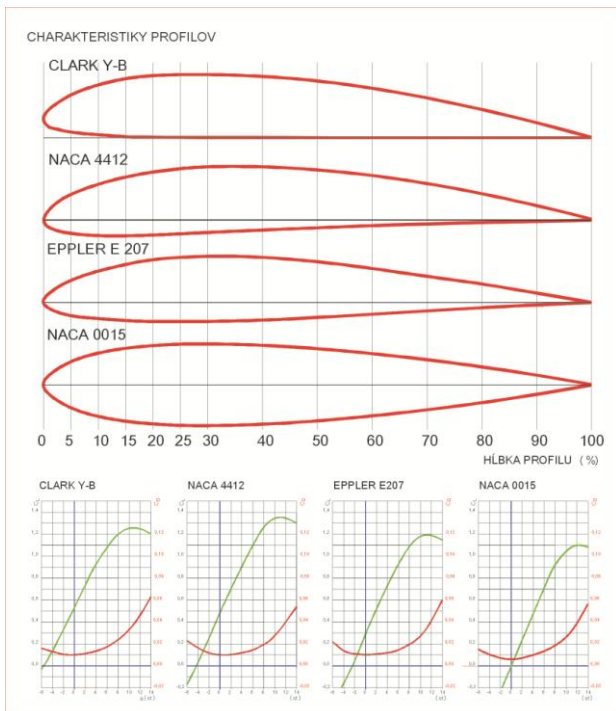
Na obrázku vpravo je moja experimentálna VAWT s priemerom 1,3 metra a dĺžkou krídel 1,6 metra. Pri vetre 3,5-4 m/s, kedy sa začína roztáčať má 150 otáčok za minútu, teda rýchlobežnosť $X=3-3,5$. Pripúšťam že vzhľadom k charakteristike alternátora, ktorý začína nabíjať pri asi 180 je to trafené pomerne dobre. Takáto rýchlobežnosť je asi maximum čo si pri malých VAWT môžeme dovoliť a stroj musí mať dobre zladený aerodynamický čistý pohon (rotor) s presne „napasovaným“ alternátorom. Ukončenie lichobežníkových koncov krídel klasickou kvapkou je to najjednoduchšie vyhovujúce výkonu aj namáhaniu.

5. *toto sú základné otázky, a ako vidieť z výsledkov rôznych výrobcov, nie sú na ne ešte presné odpovede. VAWT fungujú s rôznymi profilmi krídel. Ja mám S809. Funguje podľa mňa dobre. Iní presadzujú symetrické profily, ako NACA 0018, NACA 0020 a podobne. Je údajne nejaký zázračný profil DU 97-W300 alebo niečo podobné. Treba si len vybrať a skúšať.*

ODOVEĎ 5

„ZÁZRAČNÉ PROFILY“ NEEEXISTUJÚ !

Alebo zanechajte nádej, že nejaký od oka profil bude kompenzovať hrubé omyly z chybných diletantských rozhodnutí, naopak, môže ich ešte zhoršiť. Na poslednom obrázku je niekoľko príkladov profilov, s ktorými som vo svojej (aj modelárskej) praxi pracoval. V prvom rade každý profil ktorý chceme aplikovať musíme dôkladne poznať, prinajmenšom jeho vztlakovú a odporovú charakteristiku. Pri výpočte vrtule sa zadávajú napríklad hodnoty súčiniteľov odporu a vztlaku, smernicu vztlakovej krivky v lineárnej časti, podľa vypočítaného súčiniteľa μ sa určujú hodnoty pre výpočet šírky listov apod. Lenže to som zabudol, že diletanti asi ťažko niečo počítajú !!!

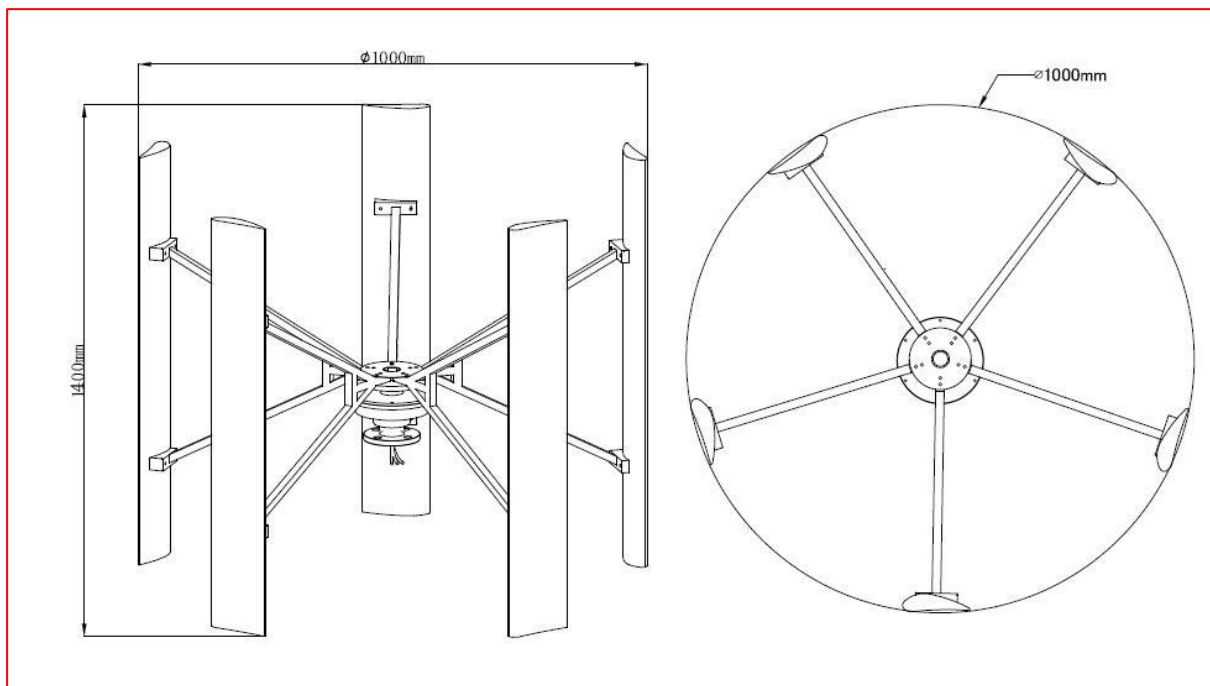


Profil S809 patrí k pomerne hrubým a jeho zakrivenie je pomerne malé. Treba pripomenúť, že tenšie a viac zakrivené profily, ako napríklad NACA 4412-15 (Tie čísla 12 a 15 znamenajú pomernú hrúbku profilu vztiahnutú k dĺžke tetivy v %) sú na tom podstatne horšie, teda pri použití na VAWT pri nulovom uhle nastavenia v zátvernej polohe viac brzdia ako ťahajú, a pri nenulovom uhle je to výrazne ešte horšie.

ZÁVER:

Mark Twain napísal poviedku „Ako som sa stal redaktorom poľnohospodárskeho časopisu“. V tom časopise dával odborne znejúce, ale nezmyselné a hlavne neúčinné a škodlivé rady. Pamätám si jednu o tom ako a kedy presádzať uhorky! A títo dvaja postupujú rovnako a výsledok bude tiež rovnaký.

Jimmy nakoniec kúpil nové krídla z Číny zo stroja, ktorý má podobnú koncepciu ako ten čo ponúka výrobca nových krídel (obrázok dolu). Hrozivo vypadá najmä profil, jeho brzdné vlastnosti budú ohromujúce. Uhol nastavenia vypadá na cca -5° , čo nie je najhoršie.



Obrázok z ponuky čínskeho stroja, z ktorého asi čerpal Jimmy, diskutér z Fínska.

Ja som čerpal hlavne zo zdroja:

<http://www.vawt.om2cm.sk/?q=node/1046>

V Trnave 30.11.2018

Ernest Ježík

Nezávislý konzultant pre veternú energetiku

e-mail: renen.cons@stonline.sk

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

<http://eia.enviroportal.sk/sposobile-osoby?m=0&p=J&c=0>

© Ježík 2016