

## ZAŠTITNO-ENERGETSKE VJETROTURBINE U SAPNICI

Ivan Vrsalović, Bernard Franković, Igor Bonefačić, Igor Wolf  
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, HR-51000 Rijeka,  
Tel.: + 385 51 651 561, Fax.: + 385 51 675 801,  
E-mail: bernard.frankovic@riteh.hr, igor.bonefacic@riteh.hr, igor.wolf@riteh.hr

**Sažetak:** Za veći broj autocesta, luka, marina, hotela i voćnjaka rušilački naleti bure su opasni i štetni. Zaštiti se od njih možemo, uspješno i korisno, pomoći posebno kombinirane vjetrobrane u koju su naizmjениčno (horizontalno i vertikalno) ugrađene specijalne vjetroturbine u skraćenoj sapnici. Sapnicu je moguće skratiti, jer ostale profilirane plohe vjetrobrane uzrokuju povećanje brzine u njenom grlu. Ti posebno oblikovani otvori vjetrobrane u koje se ugrađuju vjetroturbine unutar sapnice imaju s izlazne (vanjske) strane montirane skretne deflektore koji zračnu masu usmjeravaju (pod kutom) uvis i time uspješno štite sve objekte u zavjetrini.

**Ključne riječi:** vjetrobrana, vjetroturbina, sapnica

### 1. UVOD

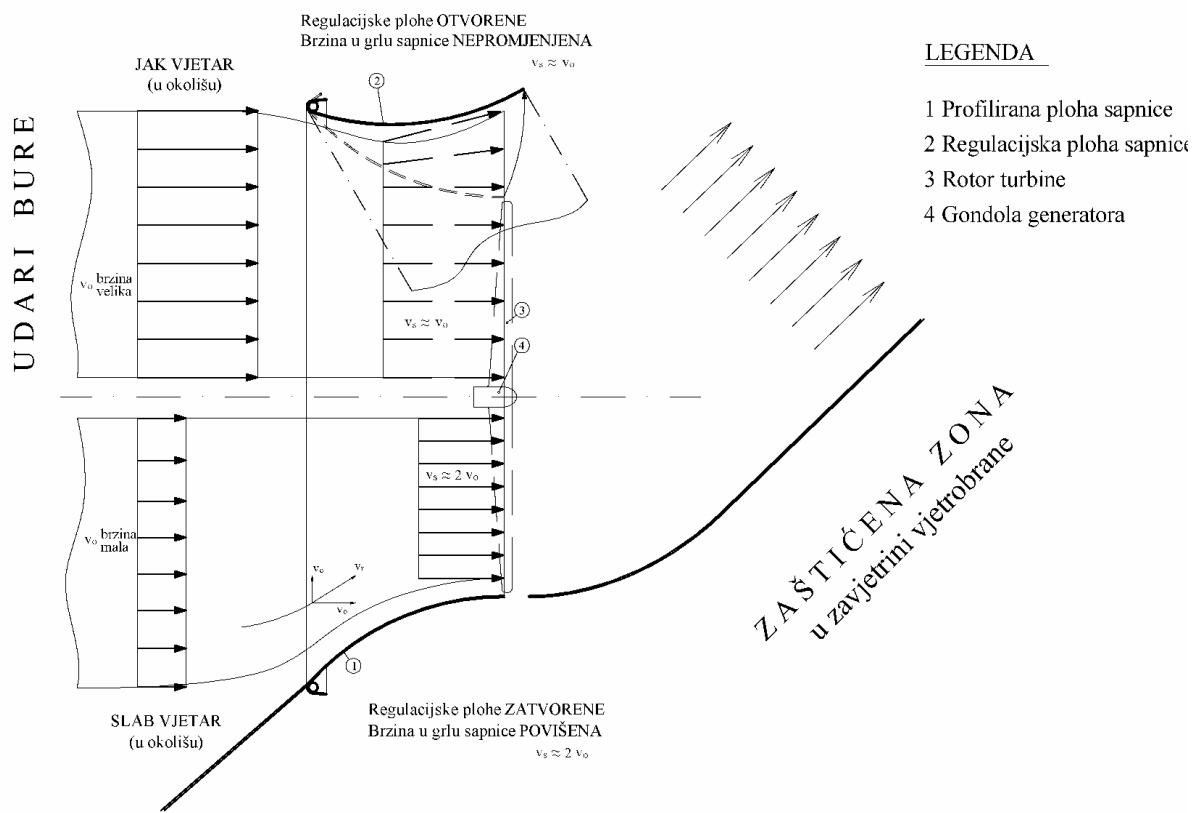
Naziv "Zaštitno-energetska vjetrobrana u sapnici" ukazuje da se radi o novoj kombiniranoj konstrukciji vjetroturbine tj. postrojenju u kojem su naizmjenično ugrađene specijalne vjetroturbine u kratkoj sapnici da bi iskoristile tj. transformirale dio kinetičke energije bure, koja u naletima udara u tu branu i time štiti objekte i naselja u zavjetrini.

Kada se vjetroturbina ugradи u sapnicu dolazi do povećanja brzine na rotoru a time i snage kod slabih i srednje jakih vjetrova. Aerodinamički plasti sapnice inducira znatne promjene radikalne brzine. Izveden je kružno u segmentima kao prednji dio aeroprofila kojemu je potlačna strana (grba profila) okrenuta prema središtu, čime je uzgon na svakom mjestu usmjerjen radikalno centripetalno. Ovakvo strujanje uključuje s prednje strane veći broj strujnica u aktivnu zračnu masu. Zatim se u strujnom toku javlja centrifugalno usmjerena reakcijska sila koja poslije rotora izaziva proširenje strujnog polja, te smanjenje izlazne brzine prema slici 1.

Povišena brzina zračne mase daje povećanje brzine:  $P_e = f(v^3)$ . Ukratko, uslijed povećanja brzine strujanja u grlu sapnica je višestruki multiplikator snage njene vjetroturbine.

### 2. OPIS UREĐAJA (POSTROJENJA)

Zaštitno-energetska vjetrobrana s turbinama u sapnici namjenjena je zaštiti objekata od naleta bure i proizvodnji električne energije iz energije vjetra. Na primjer, tokom zime 2003/2004. godine, naleti bure brzine preko 200 km/h uzrokovali su velike štete i zastoje na našoj obali i otocima. Da se te štete i zastoji izbjegnu potrebno je na određenim kritičnim lokacijama izgraditi specijalne vjetrobrane dovoljne visine da sigurno zaštite sve važnije objekte u svojoj zavjetrini.

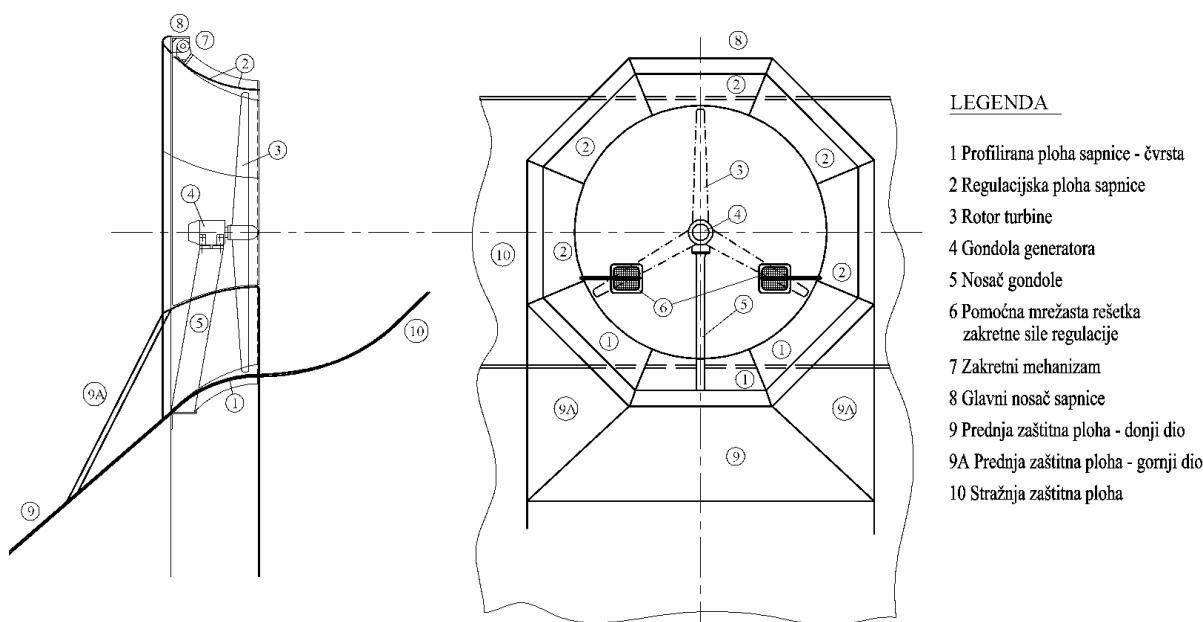


Slika 1. Regulacija vjetroturbine u sapnici

Međutim, kada se u zoni jakih vjetrova gradi zaštitna vjetrobrana, energetski je povoljno iskoristiti njene plohe s otvorima za dopunsку koncentraciju zračne mase, te je dovesti do skraćenih sapnica ugrađenih u profilirane otvore na brani. Time se dobiva zaštitno-energetska vjetrobrana s turbinama u kratkim sapnicama ugrađenim u profilirane otvore same brane. Ti otvori mogu biti u jednom, dva ili tri reda uzduž čitave vjetrobrane i na izlomljenom profilu zemljišta. Izgled zaštitnih vjetrobrana ovisit će najviše o konfiguraciji terena, jačini lokalnih vjetrova i vrsti objekata koje štiti.

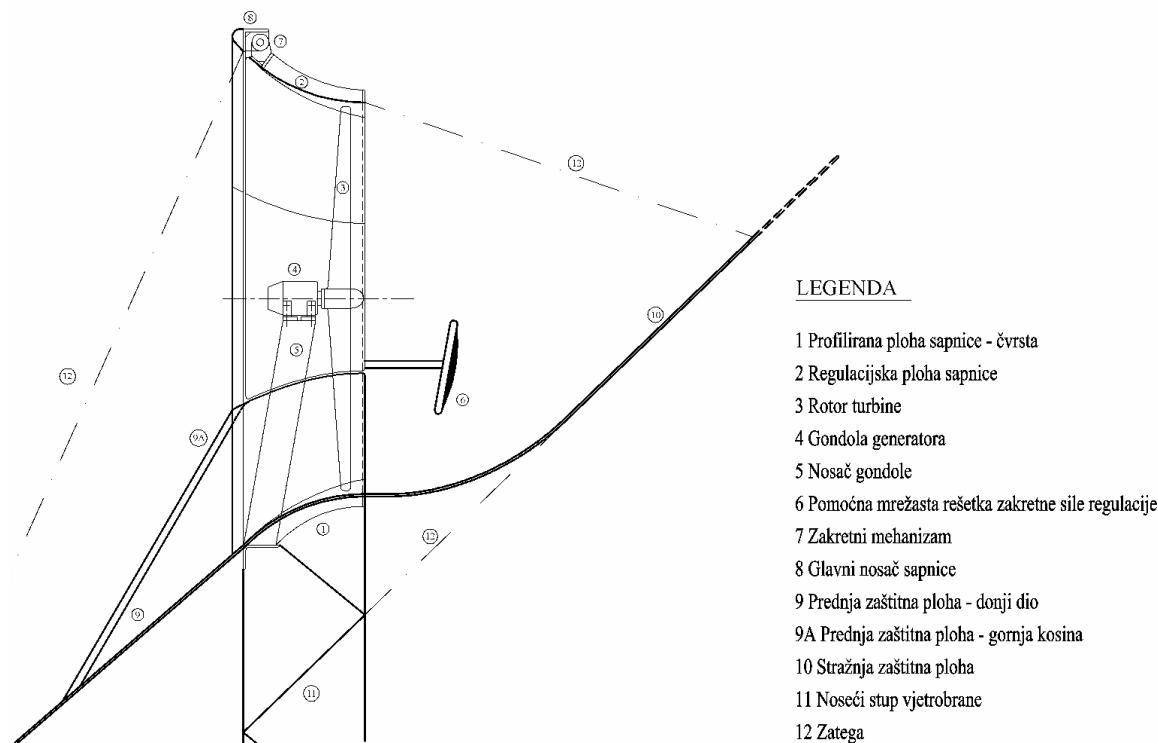
Kod rada turbine u sapnici aerodinamičkog profila, u grlu bi se brzina vjetra povećala dvostruko, što bi za vrijeme jače bure stvaralo poteškoće. Radi toga je kod takvih vjetrova potrebno izvesti automatsku regulaciju snage. To se izvodi vertikalnim zakretanjem gornjeg dijela (5/8 opsega) plašta sapnice pomoću aerodinamičke sile vjetra kod određene brzine strujanja, bez vanjske energije. Da se sprijeći štetno djelovanje naleta bure ugrađuju se skretni deflektori sa stražnje (izlazne) strane sapnice, koji zračnu masu usmjeravaju (pod kutom od 45°) uvis i tako štite vrijednije i osjetljivije objekte u zavjetrini.

Osnovni konstruktivni elementi zaštitno-energetske vjetrobrane sa turbinama u regulirajućoj sapnici su (slike 2 i 3):



Slika 2. Zaštitno-energetska vjetrobrana s turbinama u vrlo kratkim regulirajućim sapnicama

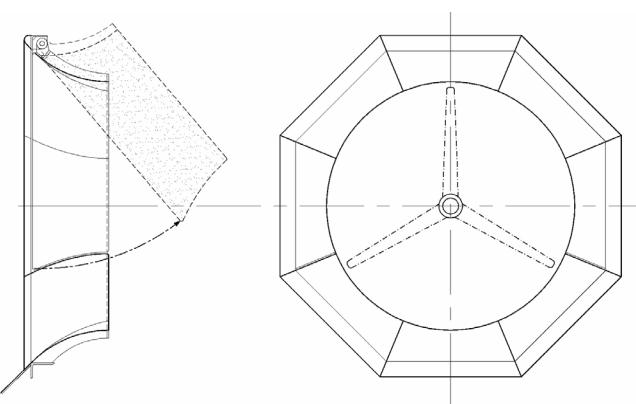
1. Aerodinamički profilirane donje (3/8 opsega), čvrste plohe plašta sapnice.
2. Slično izvedene gornje zakretne plohe plašta sapnice (5/8 opsega) koje reguliraju brzinu strujanja kod jačih vjetrova. Otvara ih, automatski, aerodinamička sila vjetra određene brzine na regulacijskoj rešetki (6) a zatvara sila povratne opruge zakretno-ovjesnog mehanizma (7) s gornje strane.
3. Lopatice rotora vjetroturbine u grlu sapnice.
4. Generator, kompletno smješten u aerodinamički oblikovano kućište.
5. Aerodinamički profiliran kosi nosač vjetroturbine.
6. Regulacijska (gusta) mrežasta rešetka koja silom jakog vjetra automatski podiže gornji dio plašta sapnice.
7. Mehanizam koji služi za ovjes i zakretanje gornjeg dijela plašta s ugrađenom povratnom oprugom za automatsku regulaciju povrata.
8. Osmerokutna profilirana noseća konstrukcija skraćene sapnice i vjetroturbine.
9. Prednja kosa zaštitna ploha donjeg dijela vjetrobrane, koja usmjerava strujanje zraka na turbinu a istovremeno štiti objekte u zavjetrini od udara bure.
10. Stražnja gornja zakrivljena deflektorska ploha, koja udarno strujanje bure poslije prolaza kroz turbinu usmjerava (pod kutom od  $45^\circ$ ) uvis, te štiti sve objekte u zavjetrini.
11. Rešetkasti stupovi koji nose čitavu vjetrobranu i turbinu u regulirajućoj sapnici u njenim otvorima.
12. Zatege koje pomažu u sigurnom održavanju vjetrobrane kod naleta bure.



Slika 3. Uzdužni presjek jednostrukе vjetrobrane s turbinama u sapnici

Dispozicija vjetrobrane predviđena je samo za djelovanje vjetra iz sjeveroistočnog kvadranta. Vjetrobranu je najpovoljnije ugraditi u posljednjoj liniji do objekta ili naselja a ispred nje postaviti normalne (energetske) vjetroturbine u sapnici koje će optimalno iskoristiti kinetičku energiju bure i znatno smanjiti jačinu njenih udara.

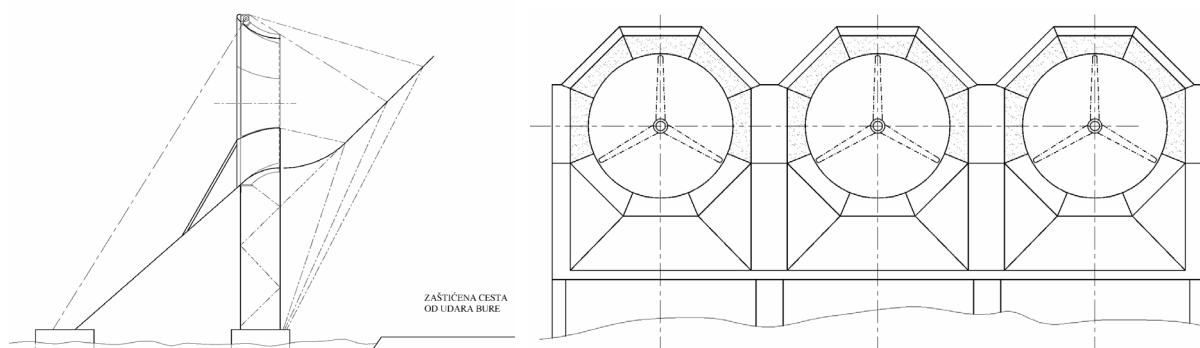
Vjetroturbina u skraćenoj regulirajućoj sapnici ugrađena u profilirani otvor vjetrobrane koristi povišenu brzinu vjetra te na rotoru turbine daje višestruko veću snagu zahvaljujući aerodinamički profiliranim ploham (1) i (2). Gornja regulacijska ploha (2) podiže se kod jakog vjetra (slika 4) što uzrokuje smanjenje brzine strujanja. Aerodinamičku otpornu silu za automatsko podizanje gornjeg dijela sapnice pri jakom vjetru stvaraju (guste) mrežaste regulacijske rešetke (6), a sila povratne opruge u sklopu zakretnog mehanizma (7) automatski je vraća kad jačina (refula) bure oslabi. Turbinski ležaji, multiplikator okretaja, generator, kočnica i ostali strojni elementi bit će smješteni unutar aerodinamički oblikovanog elipsoida (4) tzv. Gondole koju podupire kosi nosač (5) presjeka aeroprofilisa.



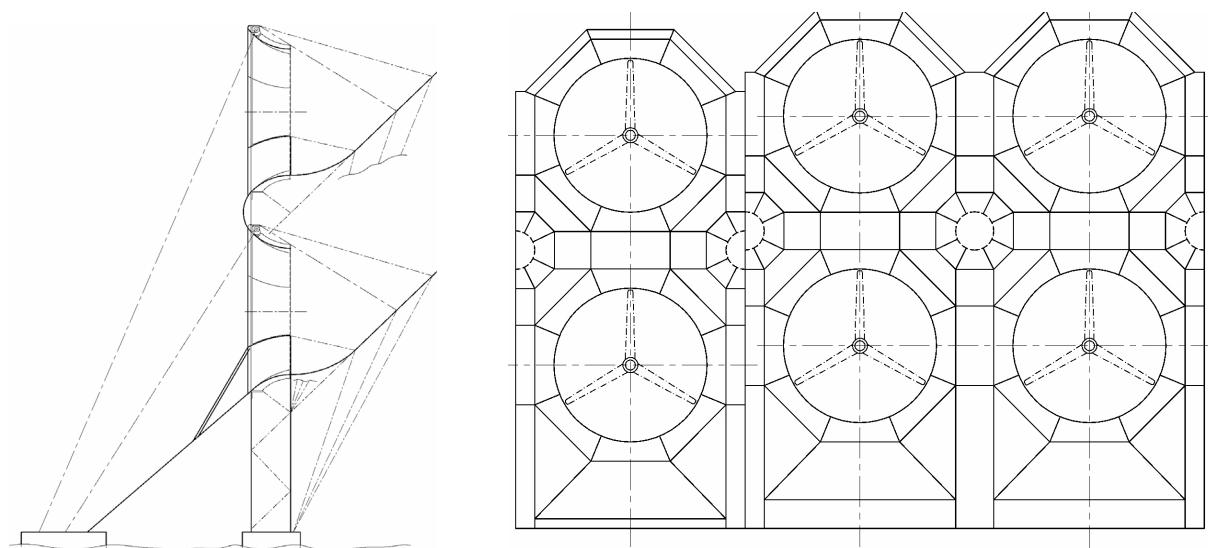
Slika 4. Regulacija zakretanjem gornjeg dijela sapnice

Čitava konstrukcija vjetroturbine i regulirajuće sapnice učvršćena je u osmerokutni okvir od aerodinamički "kapotiranih" profila (8) koji su ugrađeni na noseće stupove vjetrobrane (11) a pojačani zategama (12) kako bi što sigurnije izdržali kratkotrajne žestoke udare bure. Prednje donje kose plohe vjetrobrane (9) imaju zadaću da štite objekte u zavjetrini tako da usmjere nalete bure (slabe i jake) na turbinu (3) u grlu sapnice. Mehaničku energiju turbine generator pretvara u električnu energiju čime smanjuje brzinu strujanja. Da izlazna brzina strujanja ne bi bila štetna za objekte u zavjetini, ugrađena je stražnja gornja zakrivljena ploha (10) koja te nagle i opasne nalete bure usmjerava uvis pod kutom od  $45^\circ$ .

Vjetrobrana može biti izgrađena horizontalno, koso (uz brdo) ili vertikalno uz nebodere, silose itd. Vjetrobrana može biti niska, srednja ili visoka, te u jednom, dva ili tri reda vjetroturbina (slike 5 do 8), razne veličine i snage. Snaga vjetrobrane kreće se od 3 do 18 kW pojedinačno, odnosno od 360 kW (1 red X 120 turbina X 3 kW = 360 kW) do 2.700 kW (3 reda X 50 turbina X 18 kW = 2.700 kW) za 400 m dužine, odnosno 6,75 MW za 1000 m dužine.



Slika 5. Uzdužni presjek i čoni pogled jednostrukе vjetrobrane



Slika 6. Uzdužni presjek i čoni pogled dvostrukе vjetrobrane

### 3. ZAKLJUČAK

Zaštitno-energetska vjetrobrana s turbinama u regulirajućoj sapnici je kombinirano postrojenje s dvostrukom funkcijom:

1. Štiti sve značajnije objekte u zavjetrini brane od rušilačkih naleta bure
2. Iskorištava energetski potencijal bure koji kod npr. Senja iznosi 97% od ukupnog potencijala.

Zaštitni karakter vjetrobrane biti će naglašen u zimskim mjesecima kao i energetski (posebno za grijanje). U ostalom dijelu godine kada prevladavaju slabi i osrednji vjetrovi energetski karakter sapnice biti će radi dopunskog djelovanja brane vrlo značajan.

Elektroenergija proizvedena u turbinama zaštitno-energetske vjetrobrane (većinom u zimskim mjesecima) je dobrodošla, ali je sekundarnog značaja. Primarno djelovanje vjetrobrane jest zaštita od udara bure. Regulacija snage turbina unutar sapnice potebna je kod jačih vjetrova i izvodi se automatskim vertikalnim zakretanjem gornjeg dijela plašta sapnice pomoću aerodinamičke sile vjetra, čime se ograničava brzina strujanja na turbini u sapnici.

### LITERATURA

- [1] Molly, P. J.: *Windenergie in theorie und praxis*, Karlsruhe, 1978.
- [2] Vrsalović, I.: *Nove vjetroturbine visoke profitabilnosti*, HED-8. Forum, Zagreb, 1999.
- [3] Vrsalović, I.: *Senj Wind Power Plant*, Solar and Wind Technology, No 2/3, Oxford, 1990.
- [4] Franković, B., Vrsalović, I.: *New High Profitable Wind Turbines*, Renewable Energy, 2001., 491-499.
- [5] Vrsalović, I., Bonefačić, I., Lenić, K., Franković, B.: *Novi model vjetroturbine u sapnici*, Energy and the Environment, Vol II., Opatija, 2002., 265-272.
- [6] Gasch, R., Twele J.: *Wind Power Plants*, James & James, London, 2002.
- [7] McCreadie, A.: *An Introduction to the Concept of Energy Storing Wind Dams*, Green Zephyr Company Ltd., 2003.

## PROTECTIVE AND ENERGY PRODUCING WINDTURBINES IN THE NOZZLE

**Abstract:** For most highways, ports, marinas, hotels and orchards, strong wind gusts can be devastating. Successful protection is therefore necessary. It can be done using protective and energy producing system of windturbines in the nozzle which are alternately mounted in horizontal and vertical position acting as wind dam. Nozzle of the windturbines can be shortened because wind speed is increased using profiled surfaces of the wind dam. Special deflectors are mounted on the rear side of the wind dam whose role is to divert outlet wind mass upward at the angle of 45°, so it can successfully protect any object of importance.

**Key words:** wind dam, windturbine, nozzle