



(19) REPUBLIKA HRVATSKA
DRŽAVNI ZAVOD ZA
INTELEKTUALNO VLASNIŠTVO

(10) Kod zemlje,
broj konsenzualnog patent-a
kod vrste dokumenta:



HR PK20000385

(12) SPIS KONSENZUALNOG PATENTA

(51) Int. Cl.⁷: F 03 G 6/00
F 03 G 6/06

(45) Datum objavljivanja konsenzualnog patent-a: 31.12.2003.

(21) Broj prijave patent-a: P20000385A

(22) Datum podnošenja prijave patent-a: 12.06.2000.

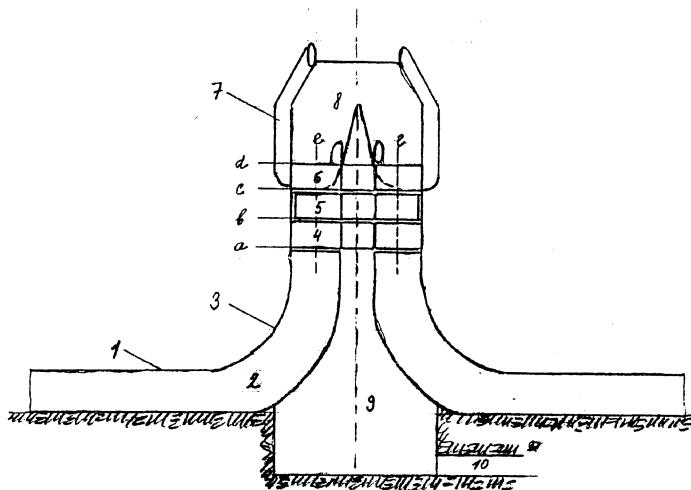
(73)(72) Nositelj konsenzualnog patent-a i izumitelj:
(74) Punomoćnik:

Neven Ninić, Kornatska 6, 22000 Šibenik, HR
DIATUS, društvo inovatora Split, 21000 SPLIT, HR

(54) Naziv izuma: SOLARNA ELEKTRANA S GRAVITACIJSKIM VRTLOŽNIM STUBOM

(57) Sažetak: Solarna elektrana s gravitacijskim vrtložnim stubom je izum koji koristi vertikalni radni potencijal prizemnog sloja zraka za stvaranje uvjeta za rad turbine i dobivanje rada preko njenog vratila iz dijela toga potencijala, dok se drugi dio istog potencijala koristi za održavanje posebne strujne strukture iza turbine, ovdje nazvano gravitacijskim vrtložnim stubom. Ta struktura hidrostaticki održava iza turbine nizak tlak potreban za oba učinka, jer su u osi vertikalnog vrtložnog stuba tlak i gustoća niži nego izvan njega.

Upotrebom gravitacijskog vertikalnog stuba kao rashladnog tornja s prirodnom cirkulacijom, ali bez čvrstog plašta - ljske, koristi se cijeli vertikalni potencijal samo za održavanje vrtložnog stuba i za pokrivanje hidrauličkih gubitaka pri strujanju kroz postrojenje.



HR PK20000385 B1

Područje tehnike

Prema međunarodnoj klasifikaciji patenata izum pripada Uređajima za proizvodnju mehaničkog rada pomoću Sunčeve energije F 03 G 6/00. Izum se odnosi na iskorištanje solarne energije i niskotemperaturne topline za dobivanje rada i - u jednoj svojoj varijanti - za održavanje gibanja zračne struje.

Tehnički problem

Glavni problem koji se rješava ovim izumom je kako iskoristiti besplatnu Sunčevu energiju za dobivanje rada u "solarnim dimnjacima" ("solar chimneys") sa što manjim investicijskim troškovima. Naime, dobivanje većih snaga na ovaj način skopčano je sa relativno niskim ukupnim stupnjem djelovanja, a Sunčeva energija je na površini Zemlje "razblažena" pa se za isplativost traže relativno velike snage skopčane sa velikim dimenzijama postrojenja.

Element koji je u ovakvom postrojenju najskupljii, te izvedbeno i sigurnosno problematičan, je sam "dimnjak". Za mini-elektranu snage 50 kW njegova visina dostiže već 200 m, a za snage koje imaju velike elektrane svakako i preko 1000 m. Ovakav dimnjak je svakako skup, građevinski teško izvediv, osjetljiv na zemljotrese i sabotaže, čime se dovodi u pitanje solarne dimnjake kao izvore rada u budućnosti.

Stanje tehnike

Osnovna iskustva sa elektranom tipa solarni dimnjak stečena su na eksperimentalnom postrojenju u Manzanaresu (Španjolska) snage 50 kW, promjera kolektorskog dijela oko 240 m i sa metalnim dimnjakom segmentnog tipa visine 195 m. Princip rada je taj da zrak koji se zagrije strujeći kroz prizemni solarni kolektor ulazi u "dimnjak" po sredini kolektora, pri dnu kojega vlada podtlak, jer je dimnjak pun toploga zraka. To omogućuje ugradnju turbine sa vertikalnom osi pri dnu dimnjaka, koja za svoj rad koristi spomenutu razliku tlakova.

Danas postoje već projekti komercijalnih elektrana ovoga tipa, snage 200 MW, sa promjerom kolektorskog dijela oko 7000 m. Dimnjak ovakvih postrojenja trebao bi biti visok čak 1500 m i tehnički je i sigurnosno najsporniji dio projekta.

Bit izuma

Izum, isto kao i sadašnji solarni dimnjaci, bazira na postojanju "vertikalnog radnog potencijala" u atmosferi, pod čime se misli na postojanje mogućnosti dobivanje rada zbog postojanja svojevrsne termodinamičke neravnoteže između donjih i gornjih slojeva atmosfere na nekoj lokaciji. Ovdje se ne misli na teoretski maksimalan rad koji bi se mogao dobivati zbog postojanja bilo kakve termodinamičke neravnoteže po visini, nego samo zbog mehaničkih neravnoteža koje bi se javljale pri adijabatskom podizanju prizemnog zraka uvis. Pri takvom podizanju, na svaki kilogram zraka djeluje uzgonska sila s mogućnošću da vrši rad.

Kako je ta sila baš izraz mehaničke neravnoteže, to se njen produkt sa vertikalnim pomakom u ravnotežnoj izvedbi procesa podizanja može uzeti za maksimalni tehnički teoretski ostvarivi rad, kojega ćemo ovdje zvati vertikalni potencijal ili kratko "potencijal" E:

$$E = \int_{0}^{H} \left(\frac{\rho_a(y)}{\rho_p(y)} - 1 \right) q dy \quad \left[\frac{J}{kg} \right] \quad (1)$$

Ovdje je $\rho_a(y)$ zavisnost gustoće atmosferskog zraka od visine, $\rho_p(y)$ promjena gustoće lokalnog prizemnog sloja sa adijabatskim ravnotežnim podizanjem uvis. (1) je i izraz za vertikalni potencijal umjetno zagrijanog zraka u solarnom kolektoru sa dimnjakom. Naime, može se pokazati da sam dimnjak teoretski ne mijenja potencijal prizemnog sloja zraka, nego ga samo koncentrira na svom dnu, analogno kao što brana ne mijenja teoretski potencijal vodotoka, ali ga koncentrira i čuva od gubitaka pri korištenju.

U današnjim solarnim dimnjacima ide se na iskorištenje što većeg dijela potencijala za dobivanje rada. U izumu se, pak, ide na dobivanje rada iz jednog dijela potencijala. Drugi dio se koristi za održavanje posebnog strujnog stanja iznad turbine, a koja se strujna struktura može nazvati "inercijalnom bocom". Naime, unutar toga prostora održavao bi se tlak niži od atmosferskog, slično kao i na dnu dimnjaka u solarnim dimnjacima.

Izum se u cjelini sastoji od solarnog kolektora koji može biti kao u solarnim dimnjacima, kroz koji u stacionarnom stanju strui zrak ka ulazu u aksijalnu turbinu, iza koje "inercijalna boca" održava tlak niži od atmosferskog. Kao što je već rečeno, u turbinu se za rad koristi samo dio raspoloživog potencijala E :

$$E_{rasp} = - \int_{p_a}^{p_{ib}} v dp \quad (2)$$

gdje su p_a i p_{ib} atmosferski tlak i tlak u inercijalnoj bocL, a v specifični volumen zraka pri procesu u turbini. Drugi dio prepušta se da odnosi zrak koji napušta turbinu, analogno kao u zrakoplovnih turbo - reaktivnih propulzora. Zrak to odnosi u obliku svoje kinetičke i tlačne energije, ali tako raspoređene po radijusu izlaznog otvora turbine, da se u šupljoj nadkomori iznad turbine formira vrtložni stub - strujna struktura sa višim tlakom i većom cirkularnom brzinom po periferiji nego u središnjoj zoni Zbog suženja u gornjem dijelu nadkomore i zbog djelovanje zakona kontinuiteta i održanja momenta količine gibanja, doći će do izvjesnog porasta srednje brzine i pada srednjeg tlaka zraka, tako da tlak na izlaznom rubu nadkomore bude jednak atmosferskom na tom mjestu, a u cijeloj unutrašnjosti presjeka bit će niži. Ovo sniženje je povezano sa uspostavljenim radikalnim rasporedom cirkularne brzine prema jednadžbi radikalne ravnoteže:

$$\frac{dp}{dr} = C^2 \rho / r \quad (3)$$

Iznad izlaza iz nadkomore formirat će se - zbog te ravnoteže i zbog postojanja i vertikalne komponente gibanja - vrtložni stub određene visine i sa sniženim tlakom u osi, koji i predstavlja rečenu inercijalnu bocu. On istovremeno održava snižen tlak iza turbine i troši dio potencijala za svoje održavanje.

Na visinu i promjer ovoga stuba utječu osim opisanog osnovnog i neki prateći procesi. Vrtložni stub imao bi, zbog trenja i povlačenja atmosfere u kojoj rotira, snažnu tendenciju da radikalno rasipa svoj moment količine gibanja, što bi cijeloj strukturi ograničilo efektivnu visinu i podtlak u sredini. No zbog uzlaznog gibanja zraka i njegova nagomilavanja na visini iznad stuba, dolazi do tendencije silaznog gibanja u okolini toga zraka, koji je sačuvao dio momenta, kao i do povlačenja uvis dijela periferne strukture stuba cirkularno-uzlaznim tokom. Uvezvi zajedno, ova dva procesa sa dvostrukom ulogom gravitacije ograničavaju radikalnu disipaciju stuba i djeluju koncentrirajuće na ukupni moment prisutan u atmosferi. U izumu se predviđa i mogućnost dodatne koncentracije u najdonjem dijelu (gravitacijskog) vrtložnog stuba ugradnjom posebnog sustava kanala, kojima se omogućava pretakanje okolnog zraka pri dnu stuba u zonu njegova središta uz ubrzanje (zbog postaje razlike tlaka) i tangencijalno usmjerjenje.

Tlak koji vlada na dnu vrtložnog stuba niži je od atmosferskog na istom mjestu za

$$\Delta p_{GVS} = (\bar{\rho}_a - \bar{\rho}_{GVS})gH \quad (4)$$

gdje su $\bar{\rho}_{GVS}$ i $\bar{\rho}_a$ srednje po visini gustoće zraka u središtu vrtložnog stuba i u okolnoj atmosferi, a H efektivna visina stuba. Ta razlika tlaka nalazi se na granicama integrala u (2). Ona omogućuje rad turbine i održavanje strukture vrtložnog stuba.

Kratak opis crteža

Popratni crteži na slikama 1. i 2. uključeni su u Opis izuma. Oni ilustriraju osnovnu izvedbu i detalje bitne za način djelovanja postrojenja.

Sl. 1. Presjek osnovne izvedbe elektrane sa gravitacijskim vrtložnim stubom
Sl. 2. ilustracija kanalnih profila u karakterističnim presjecima turbine.

Detaljan opis najmanje jednog od načina ostvarenja izuma

Na sl. 1. dat je osni presjek osno-simetrične osnovne izvedbe postrojenja. Solarna elektrana sa vrtložnim stubom prema ovom izumu sastoji se od: prozirnog krova solarnog kolektora 1, spiralnih kanala sa apsorbirajućim stijenkama 2, kućišta aksijalne turbine 3, statorskog lopatičnog vijenca 4, vijenca rotorskih lopatica turbine 5, lopatičnog vijenca zakola 6, koje su u ovoj izvedbi izuma šuplje, jer se poklapaju sa dijelovima kanala za pretakanje 7. Nadkomora je 8, strojarnica sa elementima za prijenos snage i elektrogenerator 9 i pristupni hodnik 10.

Postrojenje funkcioniра u stacionarnom stanju tako da zrak struji kroz kolektorske kanale 2 u smjeru sniženoga tlaka iza turbine. Pri tome se grijе od stijenki kanala i stiže do statorskih lopatičnih vijenaca - kanala turbine 4. U njima se ubrzava i usmjerava na rotorske lopatice 5. Njihov načelni presjek na razvijenom platu cilindra e dat je na sl. 2. Na istoj slici prikazani su i trokuti brzina u karakterističnim presjecima na ulazu i izlazu iz rotora (b i c na sl. 1.), gdje je u prijenosna brzina (brzina lopatice), w relativna brzina (vidi je promatrač na lopatici) i c apsolutna brzina. Zbog skretanja u rotorskim lopaticama zrak na njih djeluje silom F_u u smjeru njihova gibanja.

$$F_u = m' (W_c \cos \beta_c - W_b \cos \beta_b) \quad (5)$$

okrećući rotor snagom

$$P_u = F_u \cdot u \quad (6)$$

U formulamajte m' maseni protok kroz rotorske lopatice, β_b i β_c ulazni i izlazni kut nagiba lopatica (v.sl.2). Aksijalne komponente brzina W i c su takve da osiguravaju željeni protok zraka kroz stroj i mogu biti homogene po presjeku, manje ili više neovisne od udaljenosti od osi turbine (radiusa). No prošavši kroz rotor, u zraku ostaje još kinetička energija c_c^2 , kao i pripadna tlačna energija p_c/ρ_c potrebne za održavanje strukture vrtložnog stuba.

Također, sve rečeno odnosi se na približno srednji radius, gdje se događaju prosječni procesi. Radijalni pak raspored brzine i tlaka na izlazu iz turbine također je prilagođen zahtjevu vrtložnog stuba: veća cirkularna brzina i tlak na periferiji, manji ka središtu toka. Da bi se to postiglo, presjeci pri vrhu i pri korijenu lopatica razlikuju se od profila na srednjem presjeku, prikazanim na sl.2. I u ulaznom presjeku b tlak pri vrhovima lopatica treba da je viši nego pri korijenu, da bi se uravnotežila centrifugalna sila zbog postojanja cirkulare komponente brzine c .

Uzimajući u obzir sve što je rečeno o potrebnim radikalnim rasporedima brzina i tlakova, slijedi da statorske i rotorske lopatice trebaju biti uvijene oko svojih uzdužnih osi: statorske tako da im se profil pri vrhu dobije približno zaokretanjem srednjih profila u smjeru suprotnom kazaljkama na satu (gledano s vrha), a rotorske su uvrnute u suprotnom smjeru (u smjeru kazaljki).

Lopatice zakola - između presjeka c i d - imaju zadatak da dotjeraju brzinsko polje dobiveno na izlazu iz rotora u oblik najpogodniji za ulaz u vrtložni stub preko nadkomore. Sama osno simetrična nadkomora - nešto sužena pri vrhu - ima zadatak da na bazi zakona kontinuiteta, te održanja energije i momenta količine gibanja stabilizira brzinsko poljeiza zakola, te nešto poveća srednju brzinu i snizi tlak do razine atmosferskog na izlaznom rubu komore.

Konačno, u varijanti na slici su i kanali 7 za pretakanje zraka iz neposredne okoline dna vrtložnog stuba u njegovu unutrašnjost radi smanjenja radikalne disipacije momenta, i ti kanali prolaze kroz lopatice zakola. Njihovi ulazni i izlazni otvori su prilagođeni smjerovima brzina na dotičnim mjestima. Broj ovih kanala i veličina njihova presjeka stvar su optimizacije, a ne načina funkciranja.

U funkciranje elektrane sa vrtložnim stubom spada i način puštanja u pogon. U uvjetima kada su konstruktivni elementi kolektora i zračni kanali zagrijani, pokreće se turbina na bilo koji način u svom normalnom smjeru vrtnje. U tom slučaju ona radi kao aksijalni ventilator, sa trokutima brzina sličnim onima na sl.2. Kada se snaga za ovakav pogon smanji na nulu, vanjski dovod snage se prekida i turbina polako opterećuje do pune snage.

Druga varijanta izvođenja istoga izuma nema jednu aksijalnu turbinu sa okomitim vratilom, već se u središnjoj zoni kolektora nalazi veće vertikalno kućište okruglog presjeka, sa više turbinu raspoređenih po obodu zajedničkog kućišta. Njihove osi su usmjerene približno vodoravno i tangencijalno u periferiju otvora zajedničkog kućišta. U ovoj varijanti nije bitan radikalni raspored brzina i tlaka po njihovim izlaznim otvorima, već samo to da ostavljaju relativno veliku aksijalnu brzinu na svom izlazu (kao kod turbina zrakoplovnih turbo -reaktivnih propulzora).

Treća varijanta izvođenja izuma nema suhe kolektorske kanale 2, već u cijelini ili djelomično vlažne: zrak u njima ne prima samo toplinu već i vodenu paru za koju energiju priskrbuje topla voda kojom su ovlazene stijenke. Zrak je ovdje dakle u izravnom kontaktu sa toplom vodom koja se u tankom filmu slijeva preko bilo kakvih ispuna u kanalima. Ovim se postiže smanjenje gustoće zraka u vrtložnom stubu ne samo višom temperaturom pred ulazom u turbinu, već i povećanom vlažnošću. Osim toga kondenzacijom vodene pare nakon ekspanzije u turbini i nadkomori dolazi do učinka dodatnog smanjenja gustoće porastom temperature uz izdvajanje kondenzata na periferiju vrtložnog stuba.

Četvrta varijanta izvođenja nije na solarnu energiju, već sa bilo kojim izvorom niskotemperaturne topline. To može biti npr. otpadna toplina iz velikih elektrana koje rade na bilo koje kemijsko ili nuklearno gorivo. Postrojenje sa vrtložnim stubom djeluje tada umjesto rashladnog tornja.

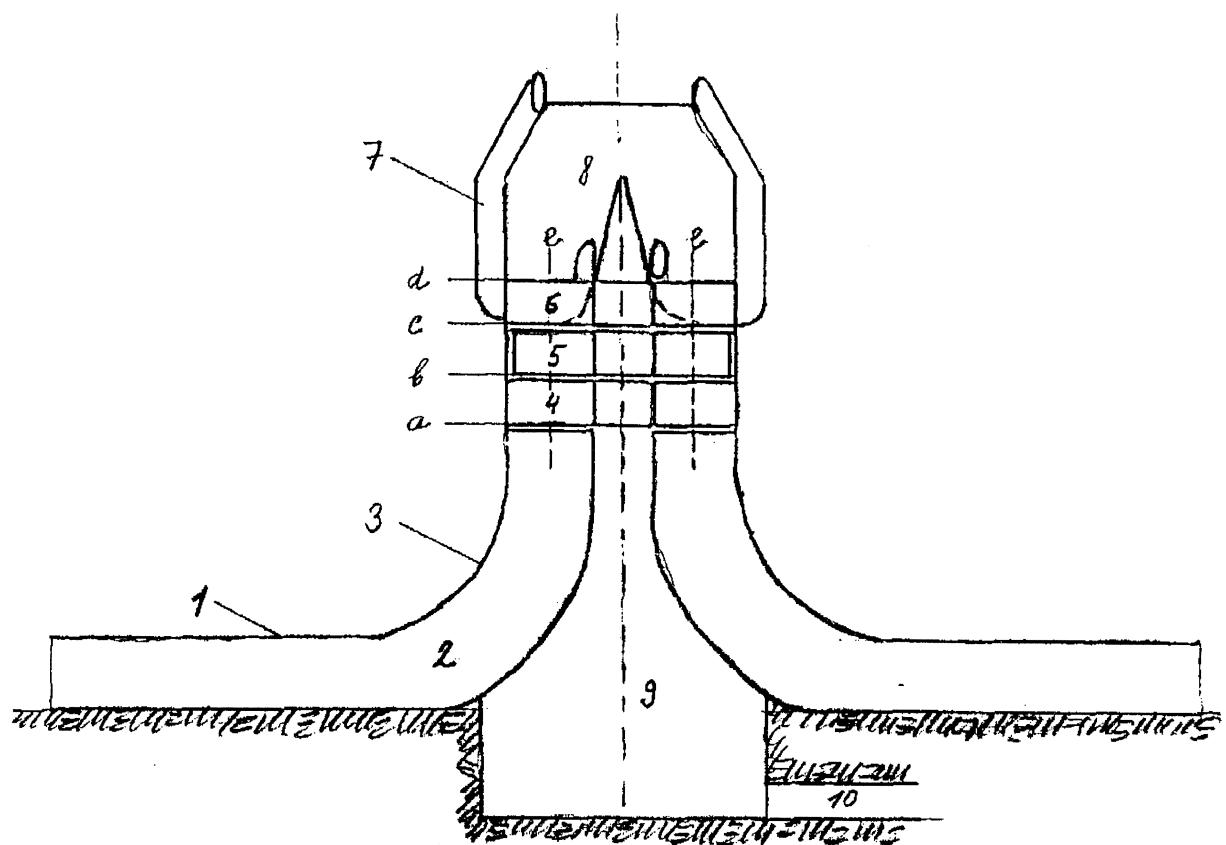
U petoj varijanti postrojenja sa vrtložnim stubom cijelo postrojenje djeluje kao veliki rashladni toranj sa prirodnom cirkulacijom zraka, ali bez visokih armirano betonskih luski, karakterističnih za rashladne tornjeve.

Način primjene izuma

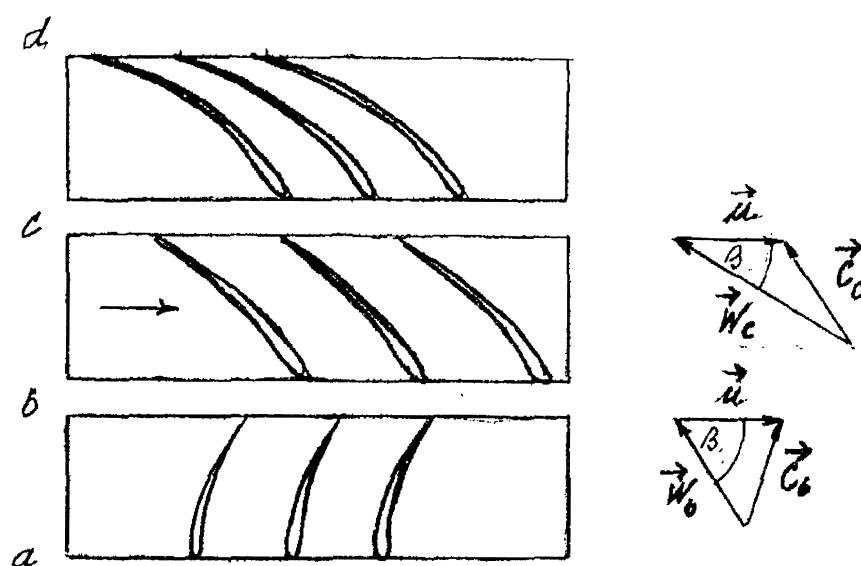
Osnovni je način primjene postrojenja sa vrtložnim stubom je da kao solarna elektrana proizvodi električni rad iz topline koju u niskotemperaturnim kolektorima prima od Sunca. Postoji, ali samo načelna, mogućnost da se umjesto kolektora koriste cijele regije sa prirodno nestabilnim zrakom. Druge su mogućnosti da se kao izvori koriste bilo kakvi izvori niskotemperaturne topline, naročito u obliku tople vode, bez posebnih zahtjeva na njenu čistoću. Konačno postrojenje sa vrtložnim stubom može zamjenjivati rashladni toranj ili postrojenje za dodatno korištenje energije u eventualnim velikim elektranama na bilo kakvo gorivo u budućnosti.

PATENTNI ZAHTJEVI

1. Solarna elektrana sa gravitacijskim vrtložnim stubom i sa niskotemperaturnim solarnim kolektorom kroz koji protječe zrak ka zračnoj turbini, **naznačena time** što iznad turbine umjesto čvrstog vertikalnog kanala ima zračni vrtložni stub, sa tlakom nižim od atmosferskog u sredini, a koji se formira tako da na izlaznom presjeku turbine budu tlakovi i cirkularne brzine veće po periferiji nego u središtu, s tim da se konačni raspored brzina i tlakova po radijusu formira automatski na izlazu iz nadkomore, tvoreći u tome presjeku osnovicu vrtložnog stuba, koji pri radu elektrane svojom visinom i sniženim tlakom u osi osigurava pad tlaka potreban za rad turbine i za održavanje rečenog brzinskog i tlačnog polja na njenom izlaznom presjeku.
2. Solarna elektrana sa vrtložnim stubom, iz zahtjeva 1., **naznačena time** da na izlazu zraka iz kolektora umjesto jedne aksijalne turbine sa vertikalnom osi ima više aksijalnih turbin ugrađenih sa osima približno tangencijalnim na zajednički cilindrični plašt horizontalnog izlaznog otvora, koji prelazi u zajedničku nadkomoru.
3. Solarna elektrana iz zahtjeva 1., koja ima uređaj za usisavanje zraka iz okoline vrtložnog stuba i za njegovo ubacivanje u unutrašnjost stuba tangencijalno na gibanje zraka, smanjujući tako tendenciju radikalne disipacije momenta u donjem dijelu stuba, **naznačen time**, da uređaj za usisavanje zraka ima više usisnih otvora oko najdonjeg dijela vrtložnog stuba, više prolaznih kanala u obliku šupljih usmjernih statorskih lopatica i više otvora u unutrašnjosti stuba, kojima se usisani zrak usmjerava tangencijalno u odnosu na lokalno strujanje.
4. Elektrana sa gravitacijskim vrtložnim stubom na niskotemperaturnu toplinu **naznačena time**, da se u njoj strujeći atmosferski zrak grije i vlaži parom prije ulaska u turbinu i zatim ulazi u vrtložni stub.
5. Rashladni toranj sa gravitacijskim vrtložnim stubom **naznačen time**, što umjesto ljske za korištenje uzgonskog efekta toplog vlažnog zraka ima gravitacijski vrtložni stub i što osim ispune za hlađenje rashladne vode ima i spiralne kanale u kojima strujeći zrak stječe moment količine gibanja potreban za formiranje gravitacijskog vrtložnog stuba.



Slika 1.



Slika 2.