

Composed air flow in pesticide spraying

Stane BERČIČ

SUMMARY

Quality and quantity of the droplets deposition depend almost only on the quantity of kinetic energy and on the turbulence of the air flow. Therefore it is especially important that the kinetic energy dissipates in the greatest extent inside the tree crowns. The form of the air flow, dissipation of energy and the turbulence intensity in the air flow can be directed by the use of composed air flows. Our research are performed for single air flow and for more variants of composed parallel and converging double flows. The influence of the distance and angle of convergence of two flows upon the form of the composed flow and dissipation of energy has been studied.

It has been stated that the width of composed air flows increases slower than the width of the single air flow and that the distance between outlets does not essentially influence its changing. On contrary the convergence angle influences the position of the point of the biggest contraction and of total joining of two flows in the single one. The kinetic energy in the composed flows drops also faster than at the single one. This dropping is especially large at the flows with bigger outlet distances and at the big convergence angles. As for instance at the distance at 3,5 m from the outlet the parallel flows contain only 44 to 75 %, and the convergent flows only 19 to 50 % of the kinetic energy of the single flow.

KEY WORDS

composed air flow, fluid mechanics, plant protection, spraying

E-mail: stane.bercic@uni-mb.si
Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo
Vrbanska 30, 2000 MARIBOR, Slovenija
Received: August 18, 1999



Sastavljena zračna struja pri aplikaciji pesticida raspršivačima

Stane BERČIĆ

SAŽETAK

Kvaliteta i kvantiteta depozicije kapljica zavise skoro isključivo od količine kinetičke energije i od stupnja turbulentnosti u struji. Zbog toga je od posebne važnosti da se rasipanje kinetičke energije u što većem obimu izvede unutar krošnje. Oblik zračne struje, rasipanje energije pa time i stupanj turbulentnosti u njoj mogu se usmjeravati primjenom sastavljenih zračnih struja. Naša ispitivanja su izvedena za jednostruki mlaz i za više varijanti sastavljenih paralelnih i konvergentnih struja. Proučavan je utjecaj razmaka i kuta konvergencije dvaju mlazeva na oblik sastavljene struje i rasipanje energije u njoj.

Ustanovljeno je da se širina sastavljenih struja povećava sporije od širine jednostrukog mlaza i da razmak između izlaznih otvora ne utječe bitno na njeno mjenjanje. Od kuta konvergencije međutim zavisi položaj točke najveće kontrakcije i potpunog slijevanja dvaju mlazeva u jedinstvenu struju. Kinetička energija u sastavljenim strujama opada mnogo brže nego kod jednostrukog mlaza. To opadanje posebno je veliko kod struja s većim razmakom mlazeva i kod velikih kuteva konvergencije. Tako na primjer kod udajenosti 3,5m od ušća je paralelne struje sadrže samo još 44 do 75 %, a konvergentne samo 19 % do 50 % kinetičke energije jednostrukog mlaza.

KLJUČNE RIJEČI

mehanka fluida, raspršivanje, sastavljena zračna struja, zaštita bilja

E-mail: stane.bercic@uni-mb.si
Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo
Vrbanska 30, 2000 MARIBOR, Slovenija
Primljeno: 18. kolovoza 1999.



UVOD

Najprimjereniji i danas najviše upotrebljavani postupak u zaštiti trajnih nasada je razpršivanje, kod kojeg usmjerena struja zraka prenese sitne kapi od ventilatora do biljaka i tamo ih deponira. Na ovaj se način eliminira utjecaj vlastite energije kapi na njihov let pa one unatoč svojoj maloj veličini mogu bolje prodrjeti u krošnje drveća, a zbog treperenja lišća i grančica bolje sjesti i na površine koje zračna struja izravno ne pogađa (24), (21). Kod ovog je postupka moguća i primjena vrlo malih kapi, čime se može smanjiti utrošak vode i već spomenuto otjecanje škropiva. Osim toga ovim se postupkom poboljšavaju i ravnomjernost pokrivanja i fitoterapeutske učinak uz manju potrošnju aktivnog zaštitnog sredstva (6), (28).

Za depoziciju malih kapi od posebnog su značaja brzina kretanja stroja i brzina zračne struje (4). Male kapi u laminarnoj struji slijede strujnicama i prepreku običu, dok se velike zbog inercije izluče iz mlaza i deponiraju na prepreku (5). Za postizanje deponiranja kapi na lišće trsa dovoljna je brzina zraka od 2-3 m/s, ali se najbolja depozicija postiže kod 12-15 m/s (20). U voćarstvu neki istraživači preporučuju u sredini krune brzine do 12 m/s, ali kod toga ne navode veličinu kapi primjenjenih u pokusu. Oheimb (23) navodi kako se najveća depozicija u vinogradu postiže kod brzine zraka do 7 m/s, i istovremeno upozorava na slabo prodiranje sporijih mlazeva u nutrašnjost krune. Utvrđeno je i da je udio škropiva koji se ne nanese na biljke pa dakle ili odlazi u prostor oko nasada ili pada na tlo, često puta i prevladavajući. Tako izvješćuje Locher (17) o samo 42-59% nanosa na biljke u hmeljarniku te Ganzelmeier (9) o 40% i Lüders (15) o 35% u vinogradu. Ovi podaci jasno pokazuju kako je udio driftom »izgubljenog škropiva« kod sadašnji postupaka još uvijek vrlo visok i kako mogućnosti za razvoj postupaka nanošenja zaštitnog preparata na biljke i u tu svrhu potrebnih strojeva još ni iz daleka nisu iscrpljene (23), (22). Većina istraživača kod poboljšanja postupka nanošenja ograničava se na: proučavanje mogućnosti poboljšanja strujanja u jednostrukim mlazevima (12), (7), na prilagođavanje nasada i uzgojnih oblika u njima (19) i na optimiranje omjera između potrošnje vode, potrošnje aktivnog sredstva te veličine i spektra kapljica (14).

O novom pristupu poboljšanja depozicije izvještavaju Furness i Pinczewski (8), koji su uspoređivali kvalitetu depozicije kod velikovolumskog raspršivača i kod raspršivača sa zračnom strujom sastavljenom iz više pojedinačnih mlazeva. Zatim Svensson (25), koji je ispitivao kako na kvalitetu depozicije u cjelom volumenu krošnje utječe različiti način postavljanja dvaju ventilatora s poprečnom strujom. Prva su dvojica ustanovili da je postignuta najbolja depozicija kod konvergentnih mlazeva, nešto slabija kod divergentnih, a najslabija kod standardnog jednostrukog mlaza. Svensson izvještava, da je kod ukrštanja dvaju mlazeva u sredini krošnje ili čak iza nje, depozicija kapljica mnogo homogenija i količinski za 50% veća od one kod

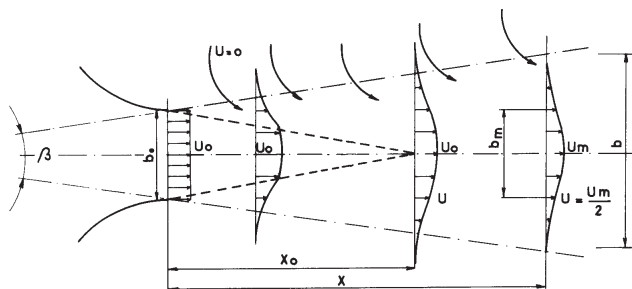
paralelnih mlazeva. Bitno se smanjuje i zanošenje kapljica izvan krošnje.

Razlog za poboljšanu depoziciju, koju su za sastavljenu zračnu struju ustanovili Furness, Pinczewski i Svensson može se tražiti u povećanom stupnju turbulentnosti u području mješanja dvaju ili više mlazeva. S usmjerenim povećavanjem stupnja turbulentnosti u nekoj točki, odnosno u nekom unaprijed definiranom predjelu struje, moglo bi se dakle jakim vrtloženjem u istom predjelu, stimulirati depozicija sitnih kapljica na lisne površine.

TEORIJSKE OSNOVE

Uzimajući u obzir danas prevladajuće izvedbe raspršivača i njihov razvoj u razdoblju posljednjih nekoliko godina, sve vrste na njima primjenjivanih zračnih struja prema obliku izlaznih otvora, mogu se rasporediti u: struje iz osnosimetričnih otvora i struje iz produženih pravokutnih otvora.

U oba slučaja iz otvora izlazi neka količina zraka V_0 koja se uzduž svog puta kretanja zbog turbulentnosti mješa sa zrakom iz okoline. Masa zraka u pokretu se tako neprestano povećava (1), (2). Poslije izlaza iz ušća, granični sloj struje se tare uz okolišni mirujući zrak, pa se tako i sam usporava. Jedro, u kojemu zrak ima još početnu brzinu sve je uže, dok se na udaljenosti x_0 od izlaznog otvora ne počinje smanjivati i osrednja - najveća-brzina U_0 u sada već potpuno formiranom profilu. Kut širenja struje β i time i njena širina teško se mogu precizno definirati, jer brzina na njenom rubu nikada ne padne na vrijednost $U=0$, već se toj veličini samo asimptotski približava.



Slika 1. Osnovni podaci o slobodnoj zračnoj struji
Figure 1. Free turbulence - basic data

Ova polazišta su osnova za teorijsko razmatranje svih u daljem radu proučavanih zakonitosti ravninskog i prostorskog širenja i stupnja turbulentnosti jednostrukih i sastavljenih slobodnih zračnih struja (Sl.1).

Cjelokupna energija zračne struje je prema zakonu o neuništivosti energije i uz pretpostavku da su svi

termodinamički efekti obuhvaćeni pojmom energetskih gubitaka, definirana jednačbom:

$$E = E_k + E_p + E_t + E_a + E_{iz} = \text{konst.}$$

E_k - kinetička energija,

E_p - potencijalna energija,

E_t - tlačna energija,

E_a - energija ubrzanja,

E_{iz} - energetske gubici.

Kod uspoređenja energetskog stanja u dvije točke između kojih nema potencijalnih i tlačnih razlika, što se može pretpostaviti i za slobodnu struju zraka, gornja jednačba dobija jednostavniji oblik:

$$E_{k1} = E_{k2} + E_{iz} \quad \text{ili} \quad E_{k1} - E_{k2} = E_{iz}$$

Razlika kinetičkih energija u jedinici volumna zraka u kretanju E_{iz} , koju označavamo kao "izgubljenu", zbog trenja između slojeva različitih brzina, pretvara se u prvoj fazi u energiju vrtloženja i kasnije u unutarnju energiju medija.

Na prilike u slobodnoj zračnoj struji adaptirana gornja jednačba glasi:

$$E_o - E_x = U_o^2 \cdot r_z / 2 - U_x^2 \cdot r_z / 2 = E_{iz} \quad (\text{J/m}^3) \quad (1)$$

E_o - kinetička energija na ušću

E_x - kinetička energija na udaljenosti x

U_o - brzina zraka na ušću

U_x - brzina zraka na udaljenosti x

r_z - specifična masa zraka

Ukupna energija struje može se u bilo kojoj točki definirati udjelom kinetičke energije i udjelom koji se vrtloženjem pretvara u unutarnju energiju medija. Ta zakonitost vrijedi i unatoč tome, što se brzina kretanja struje s udaljenošću od ušća smanjuje i što se uz njenu širinu povećava i volumen zraka u njoj, a to je izvjesno odstupanje od fizikalne definicije zakona o neuništivosti energije izraženog Bernoullijevom jednačbom.

Smanjivanje kinetičke energije uzduž kretanja struje može se prikazati i njenim omjerom prema početnoj vrijednosti, čime je definiran koeficijent njenog rasipanja:

$$k_{dis} = E_x / E_o = (U_x / U_o)^2 \quad (2)$$

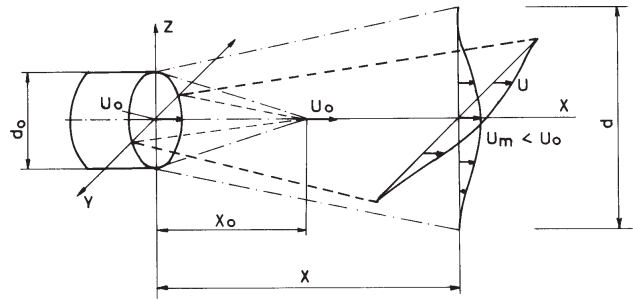
Osnosimetrični zračni mlaz

Na izlazu iz okruglog otvora promjera d_o brzina zraka U_o je jednaka po cijeloj njegovoj površini. Do udaljenosti x_o od polazne točke profil brzina se, zbog vanjskog i unutrašnjeg trenja, mijenja pa se početna brzina U_o pojavljuje samo još u osi mlaza dok je prema rubu sve manja, tako da profil brzina ima oblik kojeg je preciznije definirao Görtler (10) i sličan je Gaussovoj krivulji (Sl.2). Za sve udaljenosti kod kojih je $x > x_o$, brzina u sredini mlaza počinje opadati ($U_m < U_o$) i to linearno razmjerno s koordinatom x .

Duljina x_o određena je izrazom:

$$x_o = d_o / m$$

U jednačbi navedeni bezdimenzionalni broj m zove se koeficijent mješanja i zavisi od stupnja turbulentnosti



Slika 2. Raspored brzina u osnosimetričnoj struji
Figure 2. Velocity disposition in the axial flow

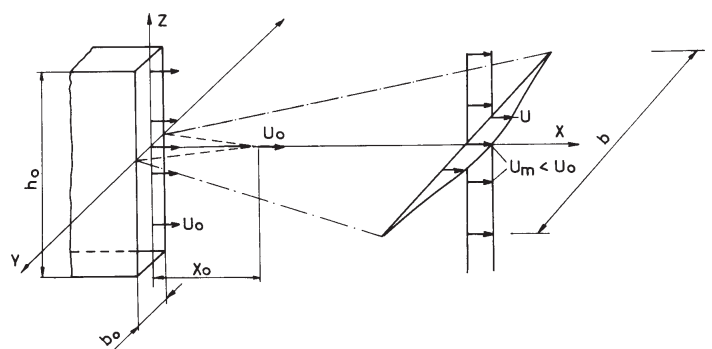
struje na izlazu. Za mlazove kakve proizvode ventilatori ugrađeni u raspršivače taj koeficijent iznosi 0,1 do 0,4, ali može biti i mnogo veći ako se u struji zraka nalaze rasprskivači za ubacivanje škropiva (20),(1).

Na osnovi tih konstatacija svaka slobodna zračna struja može se podijeliti na dva područja:

- područje formiranja mlaza od $x = 0$ do $x = x_o$,
- područje proširivanja mlaza za sve $x > x_o$.

Pravokutni mlaz

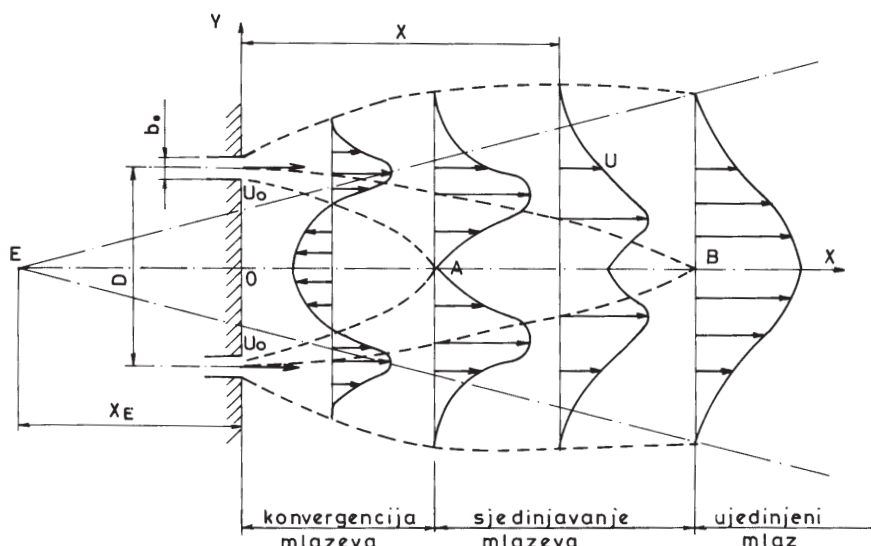
Pojednostavljeni ravninski načina proučavanja karakteristika pravokutnih mlazeva proizilazi iz pretpostavke da izlazni otvor uz poznatu konačnu širinu b_o ima beskonačno veliku visinu h_o . Profil brzina zauzima dakle oblik Gaussove krivulje samo u ravnini X-Y a njegovo mješanje s okolinom izvodi se samo na njegove dvije bočne ravninske plohe (Sl.3). Opadanje brzine kretanja mlaza, zbog relativno manjeg trenja, je sporije nego kod osnosimetričnog, kut proširenja i širina mlaza su veći, dok se volumen zraka u pokretu povećava sporije, a manje je i opadanje njegove kinetičke energije (11).



Slika 3. Raspored brzina u pravokutnom ravninskom mlazu
Figure 3. Velocity disposition in the rectangular two dimensional flow

Sastavljena zračna struja

Sastavljena zračna struja u većini je literaturnih izvora prikazana kao kombinacija dvaju paralelnih iz pravokutnih otvora istupajućih zračnih mlazeva, pa se zbog toga najčešće naziva dvostruki ravninski mlaz ili



Slika 4. Dvostruki paralelni zračni mlaz
Figure 4. Double parallel air flow

dvostruka ravninska struja. Utjecaj mješanja dvaju mlazeva s okolišnjim zrakom, uzduž njihovih kraćih strana, je naime do prilično velike udaljenosti od izlaznih otvora neznačajan, pa se tako mogu sve zakonitosti pratiti samo u ravnini X-Y (Sl.4).

Osnovna karakteristika sastavljene zračne struje je da svaki od primarnih mlazeva usisava okolišnji zrak po cijeloj svojoj vanjskoj površini. Zbog toga u ograničenom prostoru između njih nastaje podtlak koji uzrokuje njihov otklon prema zajedničkoj simetriji i time njihovo slijevanje u jedinstvenu struju. Cjelokupno formiranje jedinstvene struje može se podijeliti na tri međusobno vrlo različita područja (26):

- područje konvergencije, daljina O-A,
- područje slijevanja, daljina A-B,
- područje jedinstvene struje, desno od točke B.

U području konvergencije oba su mlaza još razdvojena. Svaki formira još svoj profil brzina prema zakonitostima jednostruke slobodne zračne struje. Bitna je razlika samo u njihovom zbližavanju, zbog već spomenutog podtlaka u međuprostoru. U tom se prostoru formiraju i dva izrazita vrtloga pa se na tom mjestu zrak može kretati i u suprotnom smjeru.

Područje slijevanja počinje u točki A, gdje su se mlazevi već toliko približili da se njihovi profili dodiruju, ali je brzina zraka u dodirnoj točki još uvijek $U=0$. Dalje od točke A mlazevi se prekrivaju i slijevaju do točke B, u kojoj se formira njihov jedinstveni profil. Precizan položaj točaka A i B, zbog velike neravnomjernosti strujanja, ne može se točno odrediti, pa se one, prema podacima dobijenim na osnovi eksperimenata (27), (16) nalaze unutar slijedećih intervala:

- točka A: $x_A = 8 - 15 b_0$
- točka B: $x_B > 30 b_0$

Posebnost područja slijevanja je i povećan statički tlak u struji (26), što se ne može primjetiti u ostala dva

područja a ni kod jednostrukog mlaza. Posljedica toga je velika nestabilnost struje u tom području, čime se i otežava izvedba mjerenja.

Usisavanje okolišnjeg zraka je u sva tri područja veće nego kod jednostrukog mlaza, i posebno je izrazito u području konvergencije. Jer se time brže povećava i volumen zraka u kretanju i širenje struje je intenzivnije. Konvergentno slijevanje dvaju ili više mlazeva, što bi analogno gornjim zaključcima doprinijelo još bržem opadanju brzina u ujedinjenoj struji, u dostupnoj nauci literaturi nije navedeno.

METODIKA ISPITIVANJA

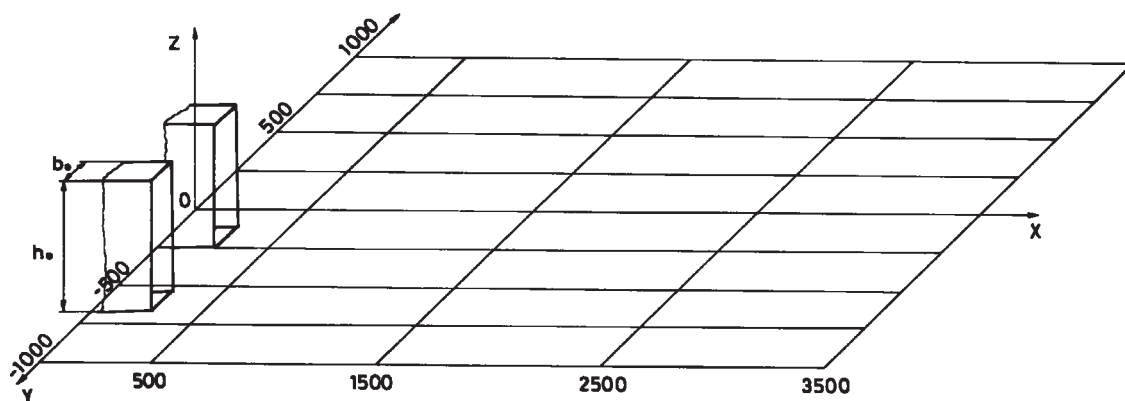
Proučavanje brzina i turbulentnosti u slobodnoj zračnoj struji primjenjuje izvesti u laboratoriju nego u nasadu. Za izvedbu mjerenja u najvećoj mogućoj mjeri treba eliminirati utjecaj okoline i time postići što izvornije gibanje struje, što je i uvjet za ponovljivost svih mjerenja.

Izvedba pokusnog modela

Za laboratorijsko ispitivanje sastavljenih zračnih struja izrađen je pokusni model po svojim dimenzijama prilagođen uvjetima rada realnih raspršivača u nasadima. Radialni ventilator kroz dva ušća uspravnog pravokutnog oblika gura zrak. Otvori omjera stranica 1:4 mogu se, za formiranje paralelnih mlazeva različitih razmaka, razmicati, i za formiranje konvergentnih mlazeva promjenjivih naglona naginjati.

Osnovni tehnički podaci o modelu su:

- izlazna brzina $U_0 = 18$ do 23 m/s
- dimenzije otvora $b_0 \times h_0 = 150$ mm \times 600 mm
- mogućnost razmicanja $D = 0$ do $1,0$ m
- mogućnost naginjanja $\beta = 0^\circ$ do 45°



Slika 5. Simetralna ravnina s mjernim točkama
Figure 5. Central plain with measuring points

Područje mjerenja

Sva mjerenja brzina u strujama bila su izvedena u istim točkama horizontalne ravnine X-Y, u kojoj se utjecaj proširivanja mlaza u smjeru osi Z može primjetiti tek kod udaljenosti daleko većim od mogućeg najvećeg potrebnog dometa realnih raspršivača pa se može pretpostaviti, da je gibanje svih oblika ispitivanih struja u ravnini X-Y dvodimenzionalno (Sl.5).

Ispitivanja su izvedena kod istih izlaznih brzina za slijedeće oblike struja:

- jednostruki mlaz,
- sastavljene paralelne struje razmaka D: 550mm, 750mm i 950mm,
- sastavljene konvergentne struje kod otklona i razmaka β/D : $8,4^\circ/850\text{mm}$, $27^\circ/650\text{mm}$, $35^\circ/750\text{mm}$ i $45^\circ/400\text{mm}$.

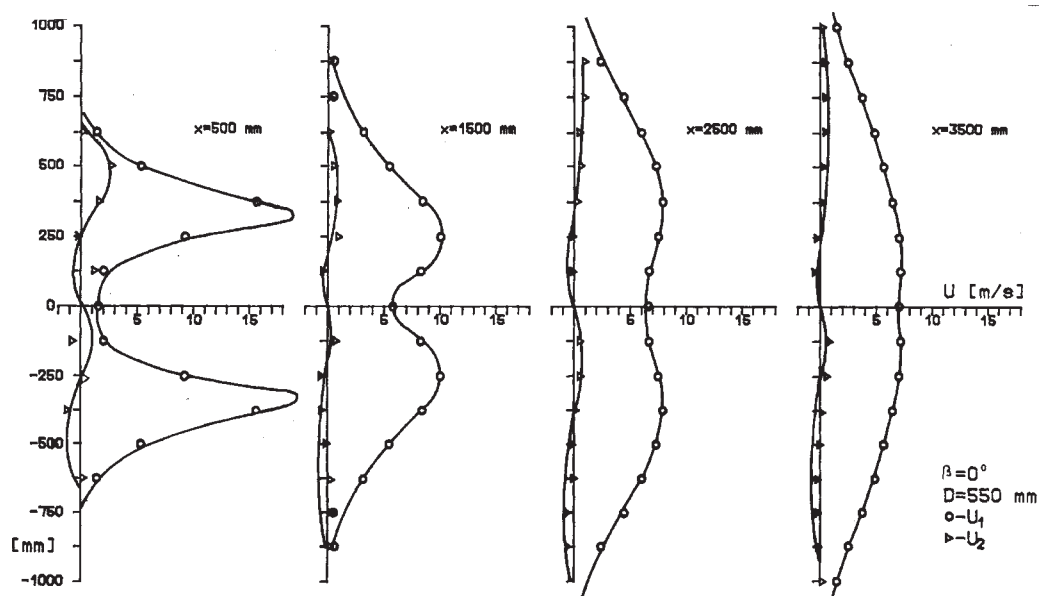
U smjeru osi X kod svih ispitivanih varinti izmjereni su poprečni profili brzina po cijeloj širini struje kod udaljenosti x: 500mm, 1500mm, 2500mm i 3500mm,

dok su razmaci između mjernih točaka po smjeru osi Y bili 125 mm.

Za određivanje brzinskog područja u slobodnoj struji zraka izabrana je metoda mjerenja tlačnih razlika, kojom se mogu vrlo precizno izmjeriti i veličina i smjer brzine gibanja medija u prividno stacionarnom toku. Sonda s pet otvora u kombinaciji s diferentnim tlačnim manometrima omogućuje mjerenje tri diferencijalna tlaka u struji. Električni signali se preko A/D pretvornika prenesu do računala gdje se obradom prema posebnom programu mogu izračunati sve tri prostorske komponente vektora brzine \mathbf{U} i to \mathbf{U}_1 u pravcu X, \mathbf{U}_2 u pravcu Y i \mathbf{U}_3 u pravcu Z.

REZULTATI ISPITIVANJA

Mjerenje veličine i pravca vektora brzine u prvoj grupi određivano je za jednostruki mlaz, za struje sastavljene iz dvaju paralelnih mlazeva i za struje sastavljene iz dvaju konvergentnih mlazeva.



Slika 6. Brzine U_1 i U_2 u jednostrukom mlazu
Figure 6. Velocities U_1 U_2 in the single flow

Brzine u jednostrukom mlazu

Rezultati ispitivanja jednog od dva zračna mlaza prikazani u diagramu (Sl.6) pokazuju da su komponente brzine U_3 okomite na tu ravninu u svim točkama promatranja zanemarivo male. Ova dvodimenzionalnost pojavljuje se kod svih, za ispitivanje izabranih, udaljenosti od izlaznih otvora, i kod svih tipova struja. Zbog toga su i kod svih ostalih rezultata ispitivanja prikazane samo vrijednosti brzina U_1 u smjeru osi X i U_2 u smjeru Y, koje u cjelini karakteriziraju strujanje u ravnini X-Y.

Brzine u paralelnim strujama

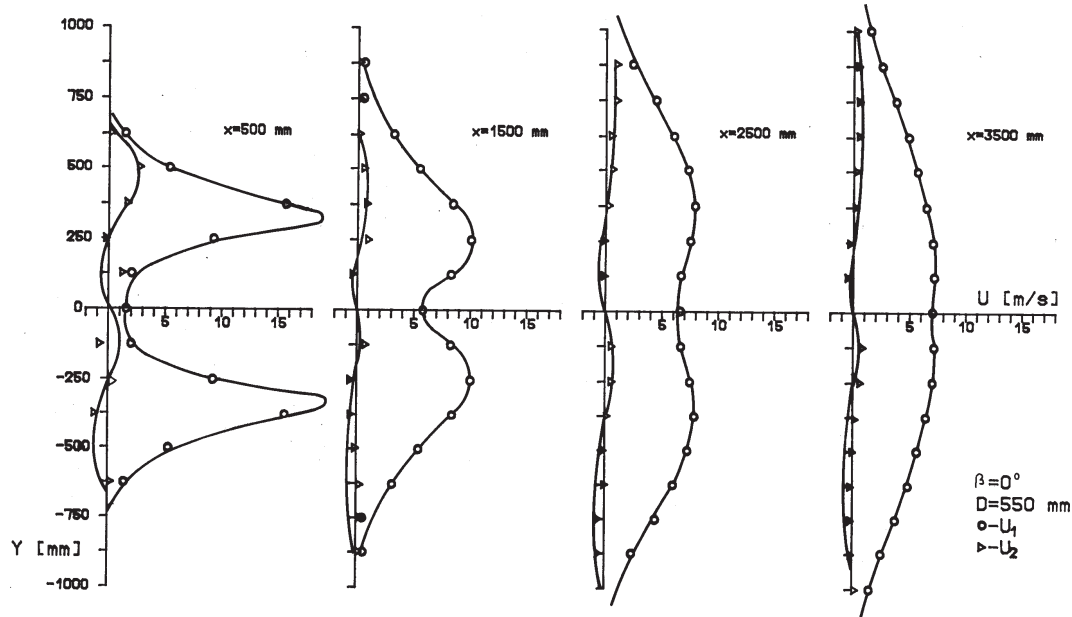
Mjerenja područja brzina dvostruke paralelne struje bila su izvedena za tri različita razmaka D između izlaznih otvora: 550mm, 750mm i 950mm.

U dijagramima (Sl.7, Sl.8, Sl.9) prikazani su rezultati mjerenja brzina U_1 i U_2 za sve tri odabrane dimenzije paralelnih struja.

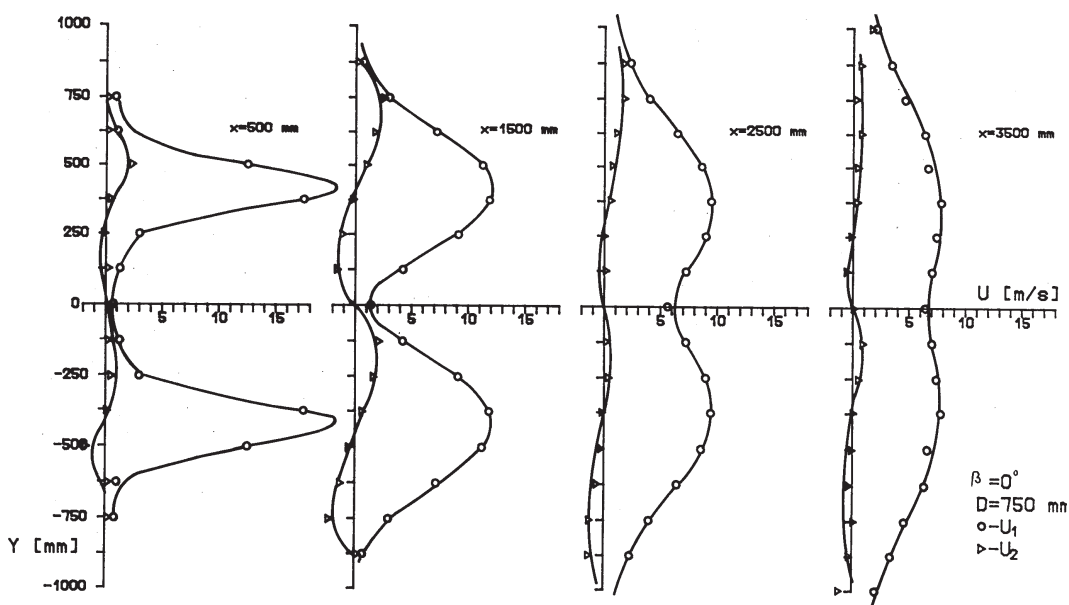
Brzine u konvergentnim strujama

Mjerenja područja brzina dvostrukih koinvergentnih struja izvedena su za četiri različita razmaka izlaznih otvora D s time, da je za svakog od njih izabran i drugačiji kut konvergencije β . Ispitivane su sljedeće varijante:

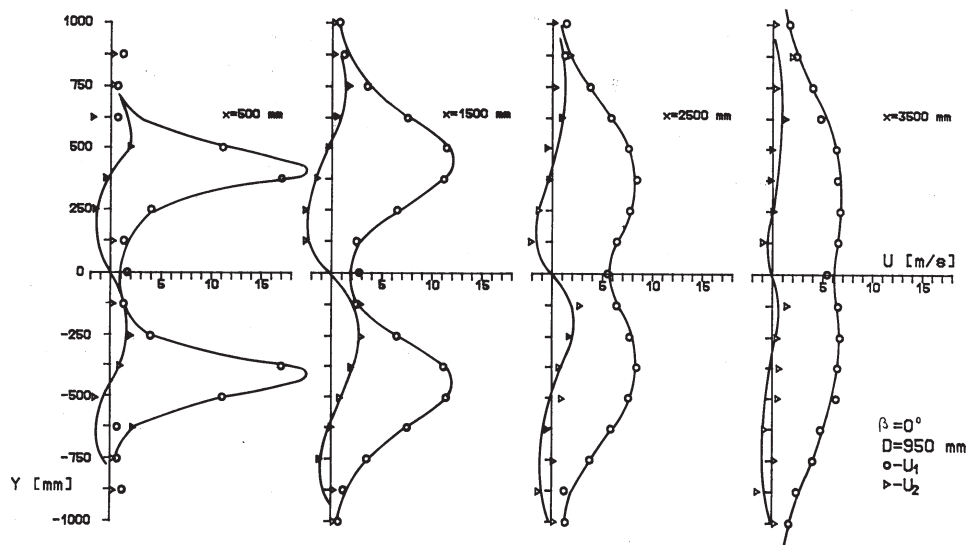
- s razmakom $D=850\text{mm}$ i kutom $\beta=8,4^\circ$
- s razmakom $D=650\text{mm}$ i kutom $\beta=27^\circ$
- s razmakom $D=750\text{mm}$ i kutom $\beta=35^\circ$
- s razmakom $D=400\text{mm}$ i kutom $\beta=45^\circ$



Slika 7. Brzine U_1 i U_2 u paralelnoj struji, $D=550\text{mm}$
Figure 7. Velocities U_1 U_2 in the parallel flow, $D=550\text{mm}$



Slika 8. Brzine U_1 i U_2 u paralelnoj struji, $D=750\text{mm}$
Figure 8. Velocities U_1 U_2 in the parallel flow, $D=750\text{mm}$



Slika 9. Brzine U_1 i U_2 u paralelnoj struji, $D=950\text{mm}$
 Figure 9. Velocities U_1 U_2 in the the parallel flow, $D=950\text{mm}$

Takav izbor proizlazi iz zakonitosti kretanja zračnih struja, koja se navode u literaturi i iz obrade rezultata naših pokusnih mjerenja. Kako je naime kod naših ispitivanja za sve tri varijante paralelnih struja utvrđeno, da se unutar područja mjerenja do udaljenosti $x=3,5\text{m}$ od izlaznih otvora one još nisu u cjelini slile u jedinstveni mlaz, konvergentne su struje formirane tako da se točke B, u kojima dolazi do potpunog slijevanja obaju primarnih mlazeva, postupno približavaju izlaznim otvorima. Kod varijante $D=850\text{mm}/\beta=8,4^\circ$ mlazevi su u potpunosti ujedinjeni kod udaljenosti $x=3,5\text{m}$, za varijantu $D=650\text{mm}/\beta=27^\circ$ kod $x=2,5\text{m}$, za varijantu $D=750\text{mm}/\beta=35^\circ$ kod $1,5\text{m}$, a za varijantu $D=400\text{mm}/\beta=45^\circ$ mlazevi su u cjelini ujedinjeni već na početku mjernog područja, dakle na udaljenosti manjoj od $0,5\text{m}$.

Na slikama (Sl.10, Sl.11, Sl.12 i Sl.13) prikazani su profilibrzina U_1 i U_2 za pojedine varijante konvergentnih struja.

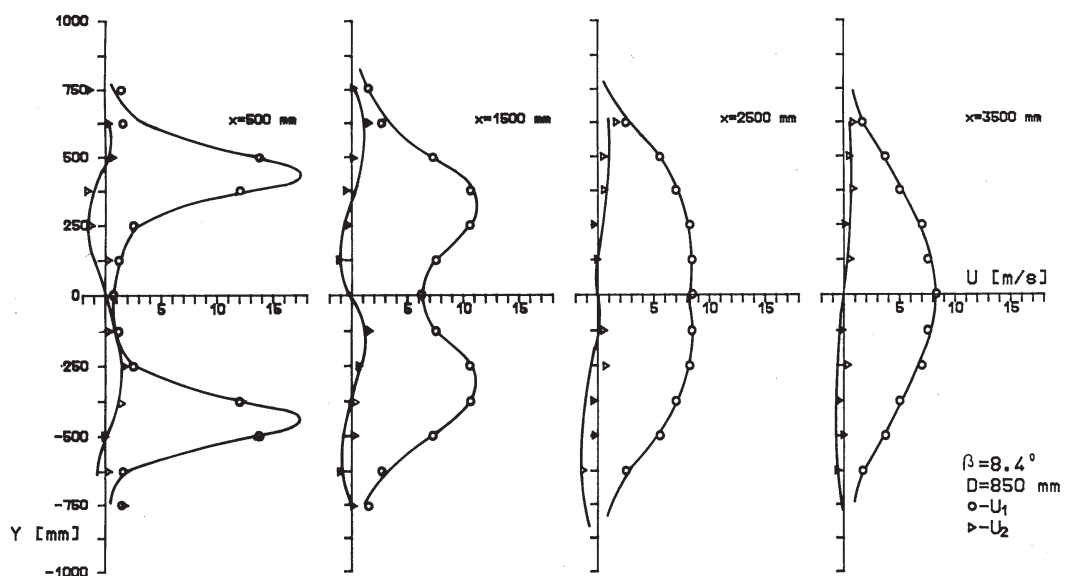
Rasprava o rezultatima

Iz profila brzina prikazanih u dijagramima (Sl.6 do Sl.13) za sve tri grupe zračnih struja i za varijante unutar njih mogu se odrediti one njihove specifične karakteristike koje utječu na transport i depoziciju kapljica škropiva na lišće biljaka. Među njima od posebnog značaja su:

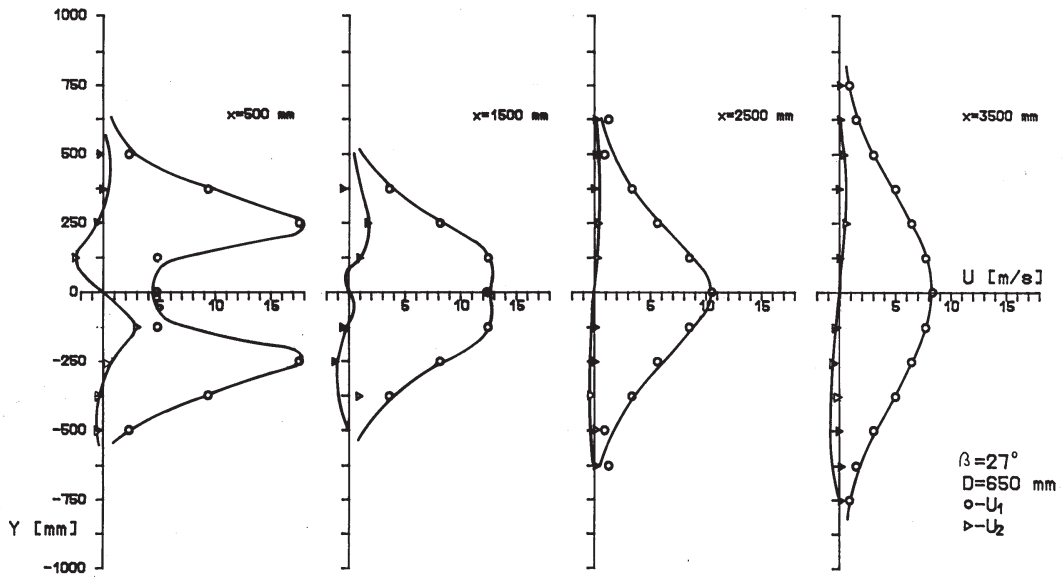
- oblik struja i raspored brzina u njima,
- protok energije i njeno rasipanje u strujama definirano jednačbom (2).

Oblik jednostrukog mlaza

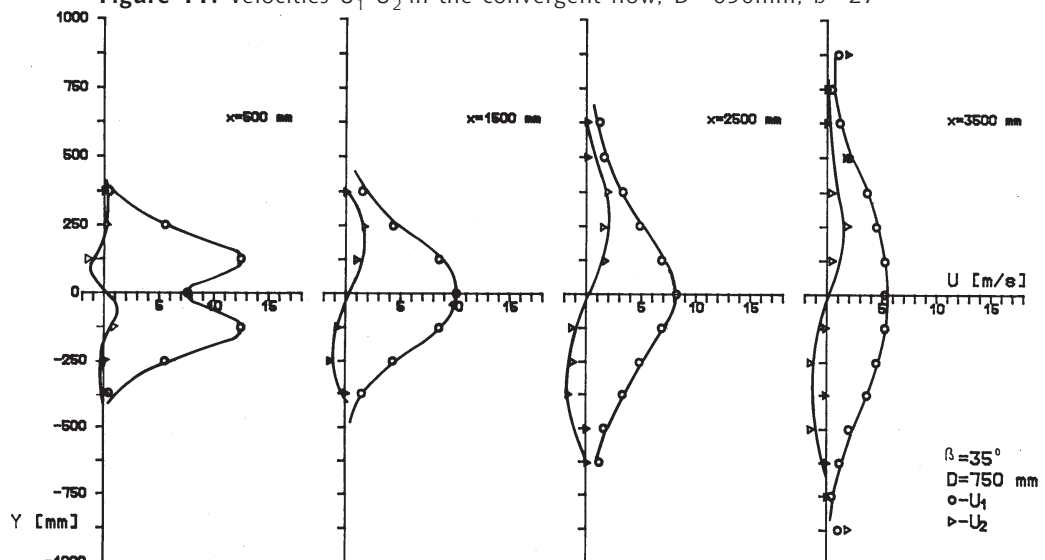
Raspored brzina u izmjenim poprečnim profilima pokazuje, da se komponenta U_1 brzinskog vektora U uzduž osi X u svim profilima (Sl.6) prema rubu mlaza mjenja u skladu s navodima iz teorije i iz prethodnih



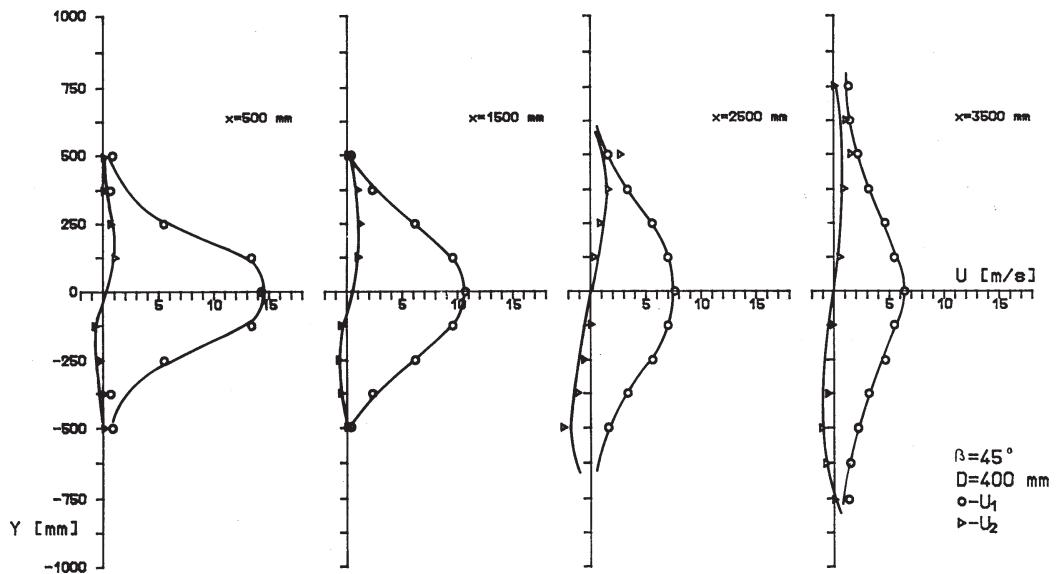
Slika 10. Brzine U_1 i U_2 u konvergentnoj struji, $D=850\text{mm}$, $\beta=8,4^\circ$
 Figure 10. Velocities U_1 U_2 in the convergent flow, $D=850\text{mm}$, $\beta=8,4^\circ$



Slika 11. Brzine U_1 i U_2 u konvergentnoj struji, $D=650\text{mm}$, $\beta=27^\circ$
 Figure 11. Velocities U_1 U_2 in the convergent flow, $D=650\text{mm}$, $\beta=27^\circ$



Slika 12. Brzine U_1 i U_2 u konvergentnoj struji, $D=500\text{mm}$, $\beta=35^\circ$
 Figure 12. Velocities U_1 U_2 in the convergent flow, $D=500\text{mm}$, $\beta=35^\circ$



Slika 13. Brzine U_1 i U_2 u konvergentnoj struji, $D=400\text{mm}$, $\beta=45^\circ$
 Figure 13. Velocities U_1 U_2 convergent flow, $D=400\text{mm}$, $\beta=45^\circ$

ispitivanja (10). Isto tako je i teorijom i ispitivanjima potvrđena pravilnost njenog opadanja uzduž osi X.

Na slici (Sl. 14) širina svake struje b_x na udaljenosti x od ušća prikazana je u relativnom odnosu do njene širine b_{500} kod $x = 500\text{mm}$, a na slici (Sl.15) najveće brzine u struji U_{\max} u odnosu na brzinu U_0 na ušću.

Komponenta brzine U_2 jednostrukog mlaza u smjeru osi Y je po cijeloj dužini mlaza usmjerena od njegove sredine prema rubu. Apsolutno i relativno u odnosu na U_1 je veća u prvom djelu mlaza, da bi se s udaljenošću od izlaznih otvora postepeno smanjivala.

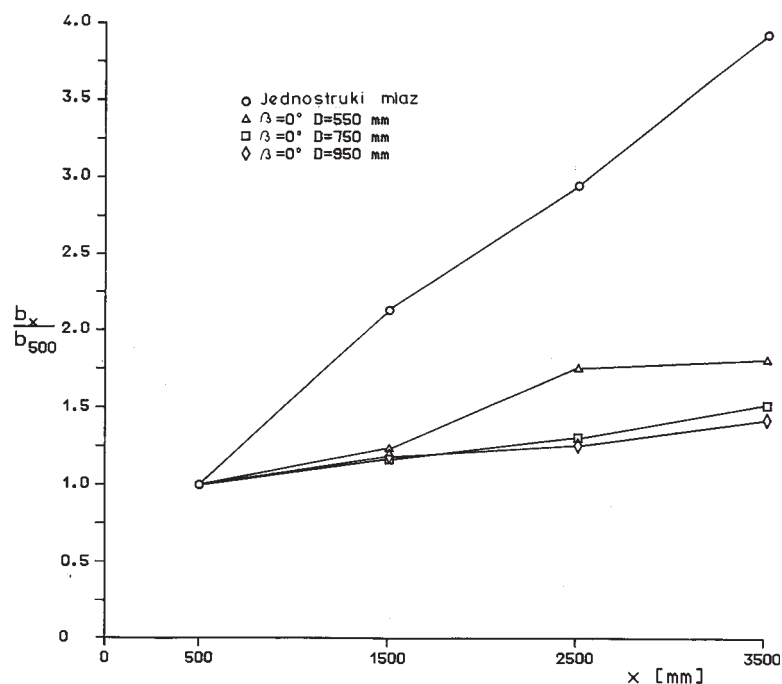
Paralelne struje

Ispitivane su tri varijante paralelnih struja, i kod svih je utvrđeno da se među mlazovima, i kod najkraćih udaljenosti od izlaznih otvora, ne pojavljuju negativne

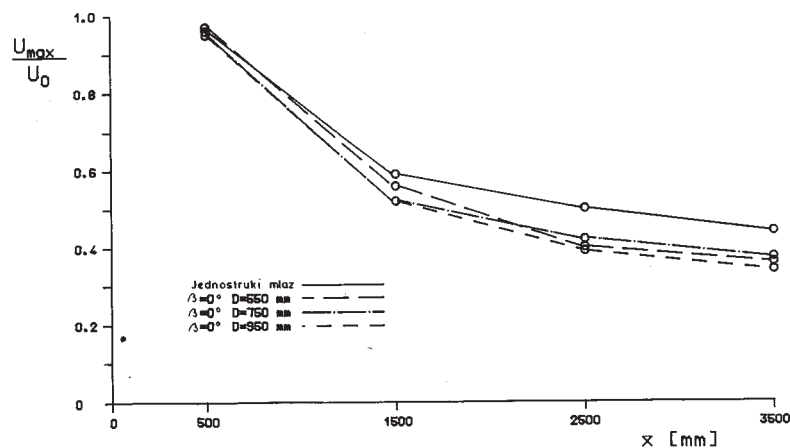
vrijednosti brzine U_1 , kako se navodi u literaturi. Ta bitna razlika posljedica je drugačije konstrukcije našeg modela, koji se od svih ostalih proučavanih u literaturi razlikuje po tome, što oba mlaza ne izlaze iz otvora u neprekinutom zidu, nego su ušća slobodno postavljena u prostor, što je po svojim karakteristikama bliže procesu stvaranja struje kod realnih razpršivača.

Širine b_m svih varijanti paralelnih struja uzduž osi X se povećavaju (Sl.14), ali je to povećavanje u uspoređenju s jednostrukim mlazom manje i neravnomjernije raspoređeno po njihovoj dužini.

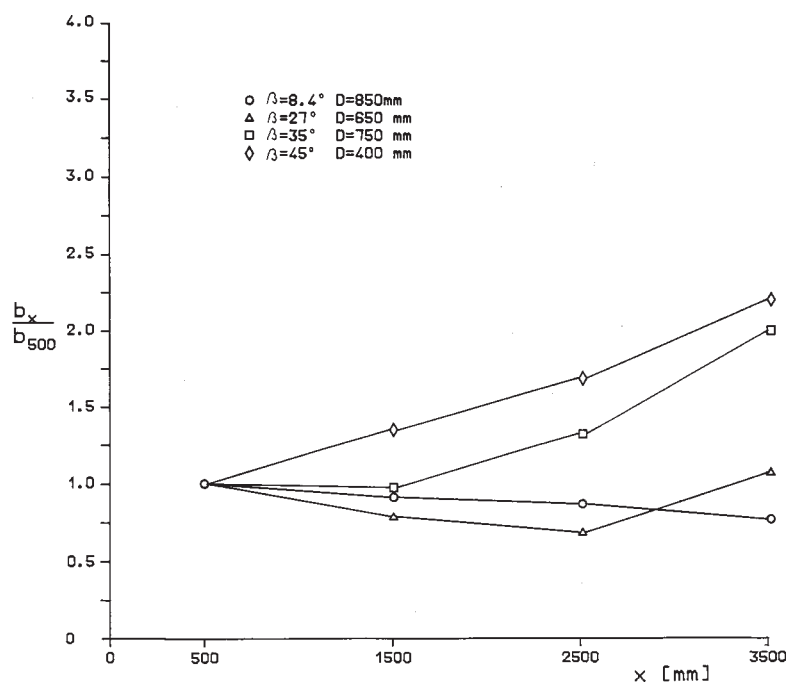
Profili brzina U_1 obaju osnovnih mlazeva, ni kod jedne od ispitivanih varijanti do udaljenosti $x=3,5\text{m}$ od ušća, još nisu u potpunosti ujedinjeni (Sl.7, Sl.8, Sl.9). Brzinska komponenta U_2 je u jedru sastavljene struje, gdje u uspoređenju s U_1 dostigne najveće apsolutne i relativne



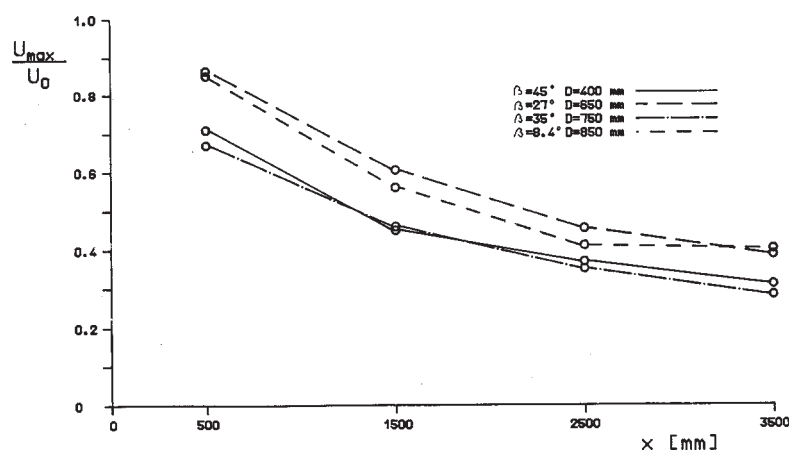
Slika 14. Širina struja; jednostruka i paralelne
Figure 14. Flow width: single and parallel



Slika 15. Najveća brzina u strujama; jednostruka i paralelne
Figure 15. Maximum velocity in flows: single and parallel



Slika 16. Širina konvergentnih struja
Figure 16. Width of convergent flows



Slika 17. Najveća brzina u konvergentnim strujama
Figure 17. Maximum velocity in convergent flows

vrijednosti, usmjerena prema njenoj simetrali a uz vanjske bokove u suprotnom pravcu. Kako kod nijedne varijante paralelni mlazevi još nisu u potpunosti ujedinjeni, najveća se brzina u poprečnim profilima pojavljuje u dva vrha.

Konvergentne struje

Zajednička karakteristika sve četiri ispitivane varijante konvergentnih struja je da se, u uspoređenju s paralelnima, profili jednostrukih početnih mlazeva mnogo brže ujedinjuju u jedinstvenu struju. Pojava je jako naglašena već kod najmanjeg kuta konvergenca $8,4^\circ$, kod kojega je ujedinjeni profil konačno formiran već do udaljenosti $x=3,5\text{m}$, dok se za sve ostale točka sjedinjene struje sve više približava polazištu. Kod konvergenca od 27° struja je u cjelini sjedinjena već kod $x=2,5\text{m}$, a konvergenca 35° kod $x=1,5\text{m}$, dok

je kod kuta od 45° sjedinjena unutar cjelog područja (Sl.10 do 13).

Uzdužna brzina kretanja zraka U_1 i poprečna U_2 do točke formiranja jedinstvenog profila se mijenjaju kao kod paralelnih struja, a dalje od nje, kao kod jednostrukog mlaza. I ovdje u području konvergirajućih mlazeva, ne može se primjetiti negativna vrijednost uzdužne brzine U_1 . Udaljenošću na kojoj se dva konvergentna mlaza ujedinjuju u jedinstveni profil, povezano je i mjenjanje širine struje b_m . Iz naših ispitivanja može se ustanoviti da se kod sve četiri razmatrane varijante u području slijevanja oba primarna mlaza širine sastavljenih struja smanjuju, a tek dalje od točke konačnog formiranja sjedinjene struje počinju opet narastati (Sl.16). Povećavanjem kuta konvergenca β ta se granična točka sve više približava izlaznim otvorima, pa se za kut $8,4^\circ$

nalazi približno kod $x=3,5\text{m}$, za kut 27° kod $2,5\text{m}$, za kut 35° kod $1,5\text{m}$, dok je za kut 45° već bliže od prve mjerne udaljenosti $0,5\text{m}$.

Poprečni profili brzina su, do točke potpunog slijevanja mlazeva, slični profilima kod paralelnih struja, dakle s dva približavajuća vrha, dok dalje od te točke imaju samo jedan vrh u simetrali struje i ponašaju se kao jednostruki mlaz. I opadanje najveće brzine u struji slično je opadanju kod paralelnih (Sl. 17).

Rasipanje energije

Iz izmjerenih vrijednosti vektora brzine u pojedinim točkama može se izračunati kinetička energija kretanja zraka u uzdužnom smjeru, dok je iz njenog postepenog opadanja duž pravca X moguće pretpostaviti i količinu energije turbulencijom pretvorenu u toplinu.

Prema jednadžbama br.1 i br.2 zrak kod izlaza iz ispušnog otvora sadrži na jedinicu volumna kinetičku energiju:

$$E_0 = r_z \cdot U_0^2 / 2 \quad (\text{kJ/m}^3)$$

a na nekoj udaljenosti x od izlaznog otvora još:

$$E_x = r_z \cdot S \cdot U^2 / 2 \quad (\text{kJ/m}^3)$$

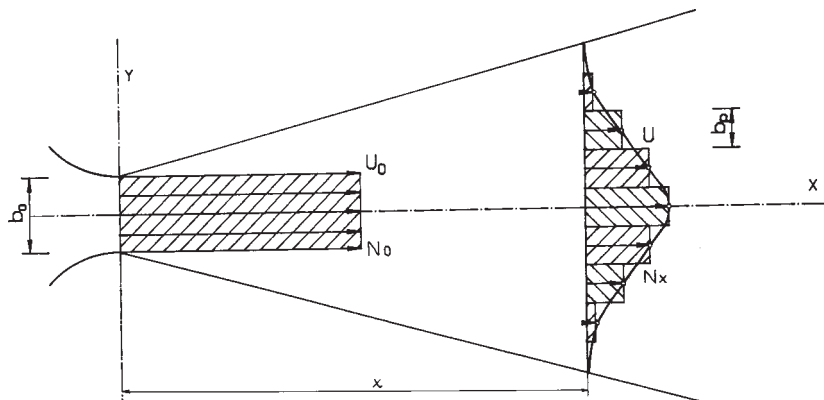
Ove se energije, ako su definirane u jedinici vremena, mogu smatrati i snagom struje $\mathbf{N}(W)$ i analogno se mogu odrediti za svaki poprečni profil (4). Egzaktni proračun trebalo bi izvesti integriranjem funkcije $U = f(y)$ po cjeloj širini profila brzine, ali je dovoljno točna i metoda zbrajanja parcijalnih energija izračunatih za svaki diferentni sektor u kojemu je brzina izmjerena (Sl.18).

Prema jednadžbi br. 2, koja u stvari predstavlja zakon o neuništivosti energije, može se odrediti koeficijent rasipanja snage kao omjer snage struje na nekoj udaljenosti x od ušća i izlazne snage:

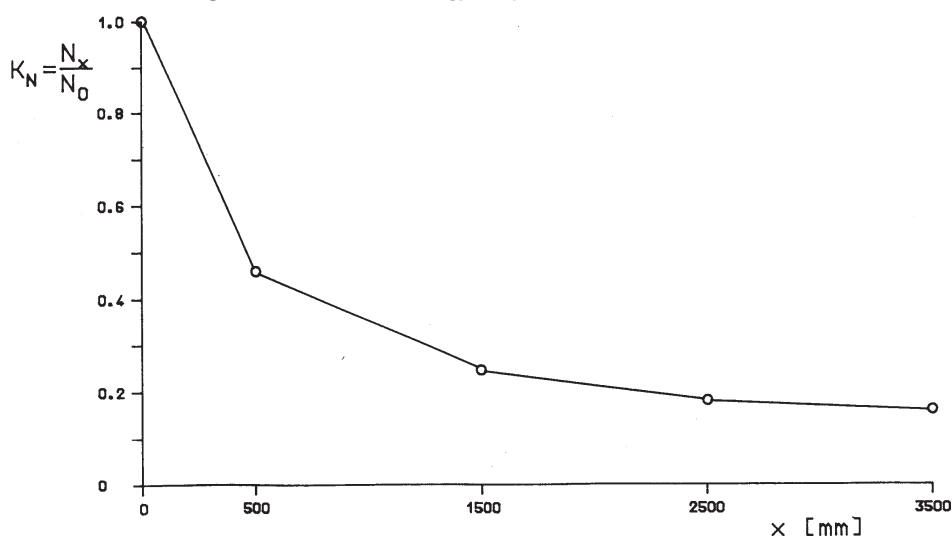
$$k_N = N_x / N_0$$

Promjenama komponente snage \mathbf{N}_x odnosno koeficijenta rasipanja k_N , dosta precizno je definiran prienos i pretvorba energije u cjelokupnoj struji. Raspored koeficijenta rasipanja energije u pojedinim strujama prikazan je u slikama: (Sl.19), (Sl.20) i (Sl.21).

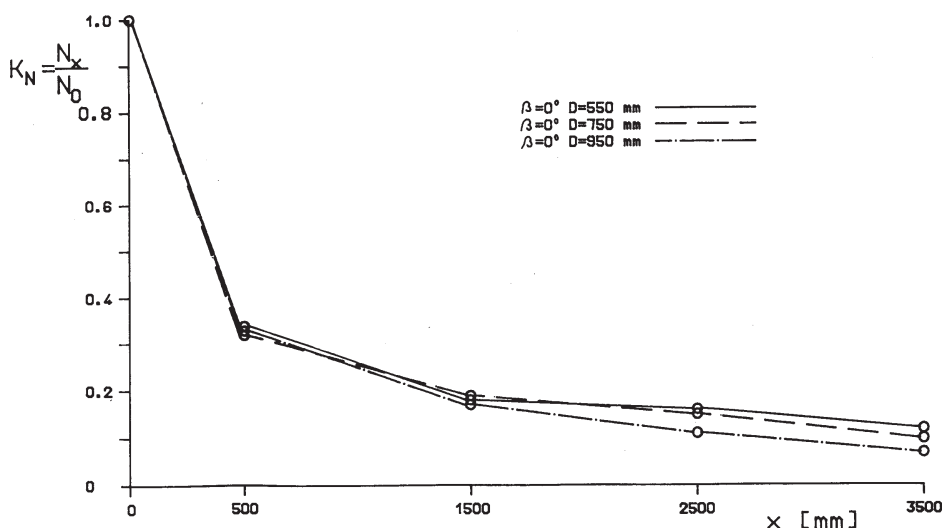
Rasipanje kinetičke energije koju zrak ima na izlazu iz izlaznih otvora, kod svih ispitivanih oblika struja, najjače je u početnom djelu njihovog puta. Do udaljenosti 500mm od ušća, kod koje su u svim strujama



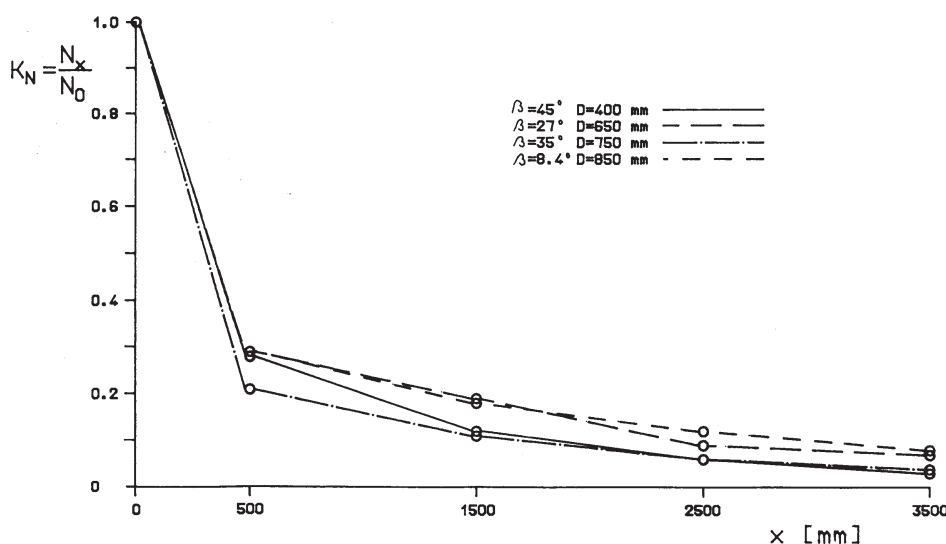
Slika 18. Raspored kinetičke energije u struji
Figure 18. Kinetic energy disposition in the flow



Slika 19. Koeficijent rasipanja snage k_N jednostrukog mlaza
Figure 19. Power dissipation coefficient k_N of single flow



Slika 20. Koeficijenti rasipanja snage k_N paralelnih struja
 Figure 20. Power dissipation coefficient k_N of parallel flows



Slika 21. Koeficijenti rasipanja snage k_N konvergentnih struja
 Figure 21. Power dissipation coefficient k_N of convergent flows

njihovi poprečni profili brzina u potpunosti zauzeli oblik Gaussove distribucijske krivulje, kod jednostrukog mlaza se već pretvorilo 54%, kod paralelnih od 66% do 68% i kod konvergentnih struja od 71% do 79% energije na izlazu. Mlazevi se dakle odmah iza izlaznih otvora, zbog velikih tangencijalnih napona između sporijih i bržih slojeva zraka, najjače mješaju međusobno i sa zrakom iz okoline. Tokom daljeg kretanja struja

opadanje njihove kinetičke energije uzduž osi X postepeno postaje sve manje. Na udaljenosti 3,5m od ušća u jednostrukom mlazu ostalo je još samo 16%, u paralelnim od 7% do 12% i u konvergentnim strujama 3% do 8% početne energije.

Udio kinetičke energije, koju u uspoređenju s jednostrukim mlazom na pojedinim udaljenostima od izlaznih otvora još posjeduju ostale struje iznosi:

x	500mm	1500mm	2500mm	3500mm
jednostruki	100%	100%	100%	100%
paralelne s.	70-74%	68-76%	61-89%	44-75%
konveg. str.	46-63%	44-76%	34-67%	19-50%

ZAKJUČCI

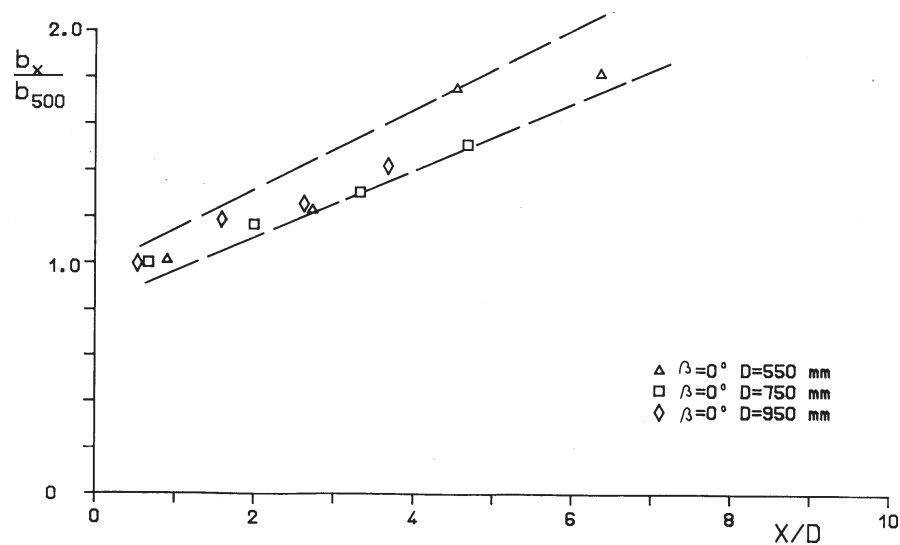
U našim smo ispitivanjima, proučavanjem teorijskih polazišta i laboratorijskim mjerjenjima kod različitih oblika zračnih struja, istraživali zakonitosti prema kojima se u njima mijenjaju uvjeti strujanja i njima povezano rasipanje kinetičke energije gibanja zraka. Za odstojanja do 3,5m od izlaznih otvora, što odgovara dimenzijama u većini suvremenih vinograda i voćnjaka, mogu se na osnovi tih istraživanja definirati neki zaključci koji predstavljaju nove bazične spoznaje kod primjene sastavljenih struja zraka u zaštiti nasada:

1. Cjelokupna širina svih sastavljenih struja unutar područja mjerenja povećava se sporije od širine

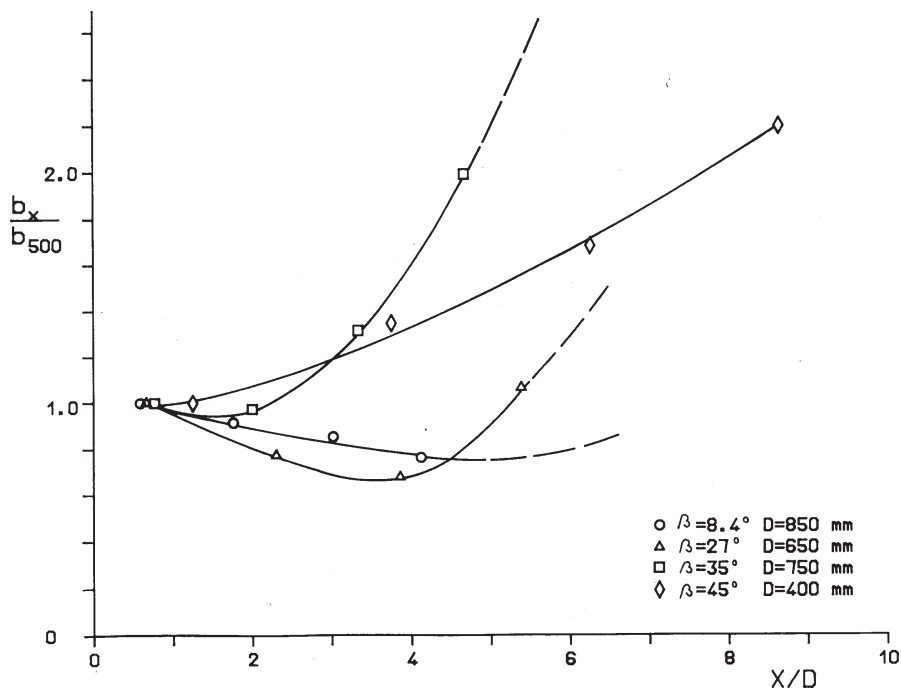
jednstrukog mlaza (Sl.14), ali je uz uvažavanje početnog razmaka D između primarnih mlazeva, njihova konačna širina apsolutno gledano veća.

2. Razmak između izlaznih otvora D , kod paralelnih struja, samo neznatno utječe na mjenjanje njihove širine uzduž puta kretanja. Ta karakteristika prikazana je u dijagramima (Sl.16),(Sl.22), iz kojih je vidljiv linearan i ravnomjeran porast širine za sve ispitivane paralelne struje. Utjecaj razmaka D eliminiran je pomoću relativizirane koordinate x / D .

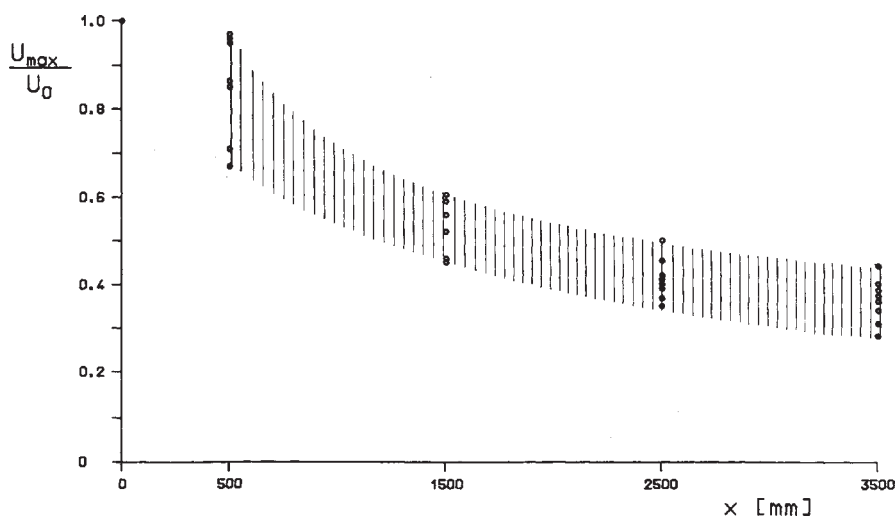
3. Širina svih konvergentnih struja neposredno iza izlaznih otvora najprije se smanjuje i tek kasnije počinje



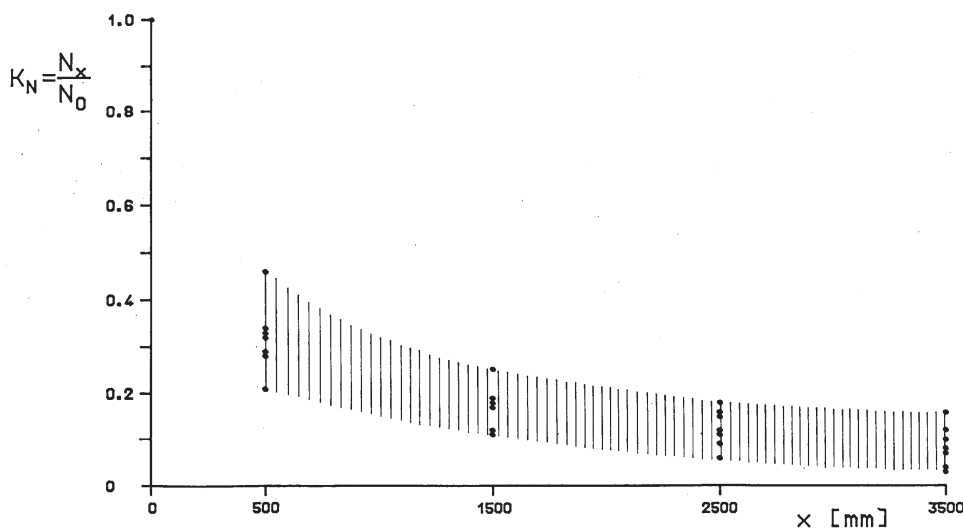
Slika 22. Mjenjanje širine paralelnih struja
Figure 22. Width changing of parallel flows



Slika 23. Mjenjanje širine konvergentnih struja
Figure 23. Width changing of convergent flows



Slika 24. Područje opadanja brzine zračnih struja
Figure 24. Air flows velocity dropping area



Slika 25. Područje rasipanja energije zračnih struja
Figure 25. Air flows energy dissipation area

njeno povećavanje. Iz slike (Sl.23) vidljivo je da položaj točke prijelaza iz sužavanja u širenje, kod svih ispitivanih struja, nije jednak. Pošto je relativnom koordinatom x/D i tu eliminiran utjecaj razmaka D , u dijagramu prikazana udaljenost najveće kontrakcije pojedinih struja od izlaznih otvora ovisna je isključivo od kuta konvergentnosti β . Može se ustanoviti, da se točka najveće kontrakcije i točka potpunog slijevanja dvaju mlazeva u jedinstvenu struju okvirno podudaraju.

4. U jednostrukom mlazu, odmah iza izlaznog otvora, brzine se vrlo brzo smanjuju, što se podudara s teorijskim zaključcima i ispitivanjima ostalih istraživača. Kod sastavljenih struja smanjivanje brzine u poprečnim profilima je još brže (Sl.24), a posebno se ta razlika može primjetiti u prvom djelu do udaljenosti od ušća $x=0,5m$. Veće opadanje brzina u strujama javlja se kod većih razmaka D i kod većih kutova konvergentnosti β .

5. Potpuno slijevanje dvaju mlazeva unutar područja mjerenja mogućeje samo kod konvergentnih struja. Kod

svih paralelnih poprečni profili brzina kod udaljenosti $x=3,5m$ još uvijek imaju dva vrha pa su zbog toga i brzina i energija raspoređeni po velikoj širini.

6. Kinetička energija svih tipova struja najviše opada u prvom djelu njihovog puta. Njena pretvorba u turbulentnu a kasnije u toplotnu energiju do udaljenosti $x=0,5m$ najveća je kod struja s najvećim kutom konvergentnosti, manja kod struja s velikim razmakom D između osnovnih mlazeva, a najmanja kod malog razmaka i kod jednostrukog mlaza (Sl.25). Na daljem putu između udaljenosti 0,5m i 3,5m rasipanje kinetičke energije za sve je struje sve ravnomjernije.

Mogućnosti primjene rezultata u praksi

Metodika naših ispitivanja bila je već na početku postavljena s namjerom da bi se što više rezultata u kombinaciji s rezultatima drugih istraživača, uz odgovarajući razvoj, moglo primijeniti za poboljšanje tehničkih postupaka u zaštiti nasada. Zbog toga se iz

već navedenih zaključaka naših ispitivanja sastavljenih zračnih struja može, kao odgovor na osnovni cilj radnje, konstatirati:

Usastavljenoj zračnoj struji je rasipanje kinetičke energije i stvaranje turbulencije u uspoređenju s jednostrukim mlazom veće, što naročito vrijedi za sve njene konvergentne varijante.

Primjena tog osnovnog zaključka značila bi za kreiranje novih strojeva i postupaka za zaštitu nasada slijedeće:

Za stvaranje sastavljene zračne struje trebalo bi na raspršivače ugraditi dva ventilatora;

- pravilnim izborom razmaka između dva mlaza i njihovog kuta konvergencije mogla bi se u krošnje dovesti količina energije, dovoljno velika za depoziciju kapi, koja bi se na tom mjestu gotovo u cjelini pretvorila u energiju vrtloženja;
- kako bi energija većim djelom ostala unutar biljaka, jako bi se smanjilo probijanje krošnje a time i odnošenje kapljica iz nasada;
- veća turbulencija uvjetovala bi i veću i kvalitetniju depoziciju kapljica na lišće;
- primarni mlazovi sastavljene struje ulazili bi u biljnu masu uvijek koso, čime bi se filtracijski učinak još i dodatno povećao.

LITERATURA

- (1) Abramovics, G.N.: The Theory of Turbulent Jets. M.I.T. Press, Cambridge (1963)
- (2) Becker, C.: Technische Stroemungslehre. D.G. Teub Stuttgart (1969)
- (3) Berčić, S.: Sastavljena zračna struja pri aplikaciji pesticida u voćnjacima i vinogradima. Disertacija Agronomski fakultet Zagreb (1993)
- (4) Cross, J.V. Et al.: Adjustment of axial fan sprayers to orchard structure. Proceedings of the 4th workshop on integrated control of pome fruit diseases, Croydon, UK, vol 20/9, (1997), P. 86-94
- (5) Dennis, R.: Handbook on Aerosols. Technical Information Center U. S. Energy Research and Development Administration (1976)
- (6) Fisch, W., Lipps, H.P.: Brühsparende Applikationstechnik im Weinbau. Der deutsche Weinbau 37(1982), P.428-431
- (7) Fox, R.D., Reichard, D.L., Brazee, R.D.: A model study of the effect of wind on air-sprayer jets. ASAE Paper no.1012 (1982), P.11
- (8) Furness, G.O., Pinczewski, W.V.: A comparison of the spray distribution obtained from sprayers with converging and diverging air jets with low volume air assisted spraying on citrus and grapevines. J.agric.Engng.Res.32(1985), P.291-310
- (9) Ganzelmeier, H.: Möglichkeiten und Grenzen der Pflanzenschutzgerätetechnik im Obstbau. Obstbau 9(1984), P.11-15
- (10) Görtler, H.: Decay of swirl in an axially symmetrical jet, far from the orifice. Revista matematica Hispano-Americana (1954), P.143-178
- (11) Gutmark, E., Wagnanski, I.: The planar turbulent jet. Jou.Fluid. Mech.73(1976), P.465-495
- (12) Heijne, B. et al: Developments in spray application techniques in European pome fruit Growing. Proceedings of the 4th workshop on integrated control of pome fruit diseases, Croydon, UK, vol 20/9, (1997), P. 119-129
- (13) Juste, F., Sanchez, S., Ibanez, R., Val, L., Garcia, C.: Measurement of spray deposition and efficiency of pesticide application in citrus orchards. J.agric. Engng. Res (1990), P.187-196
- (14) Kneissl, O., Hiebler, A.: Kostenvergleich : Feinsprühen-Normalsprühen. Allgemeine Obstwirtschaft 6(1983), P.117
- (15) Kroathapalli, A., Baganoff, D., Karamcheti, K.: On the mixing of a rectangular jet. J. Fluid Mech.107 (1981), P.201-220
- (16) Lin, Y.F., Sheu, M.J.: Investigation of two plane parallel unventilated jets. Experiments in fluids 10(1990), P.17-22
- (17) Locher, B: Wirkstoffanlagerung, Abdrift und strömungstechnische Zusammenhänge bei der Applikation von Pflanzen-schutzmitteln im Hopfenbau. Disertacija U Hohenheim, (1981)
- (18) Lüders, W., Ganzelmeier, H.: Untersuchungsergebnisse über die Anlagerung der Behandlungsflüssigkeit bei verschiedenen Pflanzenschutzgeräten in Rebsteillagen. Nachrichten-blatt D. Pflanzenschutzdienst 35(1983), P.70-75
- (19) Metz, N.M., Moser, H.: Einfluss der Obstbaumkultur auf Anlagerung und Abdrift von Pflanzenschutzmitteln. Erwerbsobstbau 16-20(1988), P.16-20
- (20) Moser, E., Allimant, R.: Technische Untersuchungen an Pflanzenschutzgeräten für den Weinbau. Landtechnische Forschung 19(1971), P.133-145
- (21) Moser, E., Rosswang, U.: Strömungsverhältnisse und Strömungsformen bei Gebläsen für Sprügeräte in Raumkulturen, Grundl. Landtechnik 33(1983), P.40-44
- (22) Moser, E.: Umweltgerechte Anwendungstechnik in Pflanzenschutz. KTBL Arbeitspapier 90, Würzburg-Darmstadt(1984), S.101-114
- (23) Oheimb, R.: Luftführung und Anlagerung von Pflanzenschutzmitteln im Wein und Obstbau. Disertacija TU Berlin (1986)
- (24) Rosswang, U.: Ausbreitung, Durchdringung und Anlagerung Zwei-Phasen-Strömung bei der Applikation in Raumkulturen. Disertacija U Hohenheim (1985)
- (25) Svensson, S.A.: Orchard spraying - deposition and air velocities as affected by air jet qualities. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, Rapport 149(1991), P.1-79
- (26) Tanaka, E.: The interference of two-dimensional parallel jets (Rep.1.). Bulletin of the JSME 13(1970), P.272-280
- (27) Tanaka, E.: The interference of two-dimensional parallel jets (Rep.2.). Bulletin of the JSME 17(1974), P.920-927
- (28) Uhl, W.: Gerätetechnische Untersuchungen zur Reduzierung der Brüheaufwandmenge. Rebe und Wein 36(1983), P.341-347

ŽIVOTOPIS-BIOGRAPHY

Stane Berčić rodio se 18. 2. 1940. u Mariboru, Slovenija. Klasičnu gimnaziju završio je u Mariboru, 1957, i diplomirao na Fakultetu za strojništvo, Ljubljana, 1964. Magistirao je 1974. i doktorirao 1993. godine na Agronomskom fakultetu Zagreb-mehanizacija poljoprivrede

Od 1964. do 1972. radi kao projektant za poljoprivredne strojeve u poduzeću METALNA u Mariboru, a od 1972. zaposlen je na Fakulteti za kmetijstvo (prije Višja agronomska škola) Univerze u Mariboru kao nastavnik na više predmeta vezanih na poljoprivredne strojeve.

U znanstveno-istraživačkom radu sudjeluje od 1972. kroz istraživačke projekte s područja poljoprivrednih strojeva. Ima stalnu usku saradnja s istraživačima drugih organizacija, posebno s Kmetijskim inštitutom Slovenije, s Turboinštitutom iz Ljubljane i Agronomskim fakultetom iz Zagreba. Stručni je suradnik Ministarstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Slovenije za područje navodnjavanja i tehnike zaštite biljaka;

Od 1994. je član organizacijskog i recenzijskog odbora tradicionalnog međunarodnog simpozija ACTUAL TASKS ON AGRICULTURAL INGENEERING, citiranog u međunarodnim bazama podataka.

Član je: Društva Kmetijske tehnike Slovenije, Hrvatske udruge za poljoprivrednu tehniku, EurAgEng – Evropskog udruženja inženjera poljoprivredne tehnike i ASAE – Američko udruženja inženjera u poljoprivredi, prehrani i biološkim sistemima.

Napomena:	Izvod iz doktorske disertacije obranjene 21.07.1993. godine na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu
Članovi povjerenstva:	Prof. dr. sc. Josip Brčić, Agronomski fakultet Zagreb Akademik, Prof. dr. sc. Milan Maceljski, Agronomski fakultet Zagreb Dr. sc. Branko Širok, Turboinštitut Ljubljana