

Utjecaj tehničkih čimbenika raspršivanja na pokrivenost lisne površine s radijalnim raspršivačem u nasadu jabuke

Milošević, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:254374>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

Josip Milošević, apsolvent

Diplomski studij Mehanizacija

**UTJECAJ TEHNIČKIH ČIMBENIKA RASPRŠIVANJA NA POKRIVENOST
LISNE POVRŠINE S RADIJALNIM RASPRŠIVAČEM U NASADU JABUKE**

Diplomski rad

Osijek, 2016.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU**

Josip Milošević, apsolvent

Diplomski studij Mehanizacija

**UTJECAJ TEHNIČKIH ČIMBENIKA RASPRŠIVANJA NA POKRIVENOST
LISNE POVRŠINE S RADIJALNIM RASPRŠIVAČEM U NASADU JABUKE**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof.dr.sc. Đuro Banaj, predsjednik
2. doc.dr.sc. Vjekoslav Tadić, mentor
3. doc.dr.sc. Ivan Plaščak, član

Osijek, 2016.

SADRŽAJ

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. PREGLED LITERATURE | 3 |
| 2.1. Veličina kapljica | 3 |
| 2.2. Brzina zraka i protok pri radu raspršivača | 5 |
| 2.3. Zanošenje tekućine (drift) | 7 |
| 2.4. Mlaznice na tehničkim sustavima u zaštiti bilja | 9 |
| 2.5. Vodoosjetljivi papirići (VOP) | 10 |
| 2.6. Metode evaluacije pokrivenosti tretirane lisne površine pomoću vodoosjetljivih papirića (VOP) i računalna analiza slike | 10 |
| 3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZA | 12 |
| 4. MATERIJAL I METODE | 13 |
| 4.1. Raspršivač <i>Hardi Arrow</i> | 13 |
| 4.2. <i>Lechler TR 80</i> mlaznice | 14 |
| 4.3. Utvrđivanje brzine i protoka zraka | 16 |
| 4.4. Vodoosjetljivi papirići (VOP) | 18 |
| 4.5. Računalna metoda analize slike | 20 |
| 4.6. Utvrđivanje veličine i broja kapljica/cm ² tretirane površine | 22 |
| 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA | 24 |
| 5.1. Rezultati mjerenja brzine i protoka zraka | 24 |
| 5.1.1. Rezultati mjerenja brzine i protoka zraka radijalnog raspršivača u nasadu jabuke | 24 |
| 5.2. Rezultati utvrđivanja <i>LAI</i> – a i <i>LAD</i> – a | 26 |
| 5.2.1. Rezultati utvrđivanja <i>LAI</i> – a i <i>LAD</i> – a u nasadu jabuke | 27 |
| 5.3. Rezultati mjerenja vremena potrebnih za obavljanje pojedinih tretmana | 28 |
| 5.3.1. Rezultati ostvarenih vremena tijekom rada radijalnog raspršivača | 29 |
| 5.4. Rezultati mjerenja glavnih svojstava istraživanja | 29 |
| 5.4.1. Rezultati mjerenja glavnih svojstva istraživanja s radijalnim raspršivačem (<i>Hardi Arrow</i>) u nasadu jabuke | 30 |
| 5.4.1.1. Rezultati mjerenja pokrivenosti tretirane površine | 30 |
| 5.4.1.2. Rezultati mjerenja veličine i broja kapljica/cm ² | 33 |
| 5.4.1.3. Rezultati mjerenja zanošenja tekućine (drift) | 36 |
| 6. RASPRAVA | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 6.1. Uzgojne karakteristike nasada jabuke | 38 |
| 6.2. Glavna svojstva istraživanja tijekom eksploatacije radijalnog raspršivača (<i>Hardi Arrow</i>) u nasadu jabuke | 38 |
| 6.3. Broj kapljica/cm² | 39 |
| 6.4. Prosječni promjer kapljica | 40 |
| 6.5. Zanošenje tekućine (drift) | 41 |
| 7. ZAKLJUČCI | 43 |
| 8. POPIS LITERATURE | 44 |
| 9. SAŽETAK | 48 |
| 10. SUMMARY | 49 |
| 11. POPIS TABLICA | 50 |
| 12. POPIS SLIKA | 50 |
| 13. POPIS GRAFIKONA | 50 |
| TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA | 51 |
| BASIC DOCUMENTATION CARD | 52 |

1. UVOD

Poljoprivreda je djelatnost koja obuhvaća uzgoj životinja, biljaka, gljiva i ostalih oblika života zbog hrane, vlakana, biogoriva, ljekovitog bilja i drugih produkata kako bi se održao i unaprijedio ljudski život. Moderna poljoprivreda, oplemenjivanje bilja, kemikalije kao što su pesticidi i gnojiva te tehnološki razvoj su u mnogim slučajevima intenzivno povećali prinose od uzgoja, ali istovremeno narušili krhku ekološku ravnotežu te uzrokovali štetne efekte na čovjeka. Povećanje proizvodnje među ostalom zahtjeva i intenzivniju uporabu tehnike koja neprikladnom primjenom može negativno utjecati na ekološku ravnotežu. Cilj je unaprijediti, poboljšati i razviti nova tehnička rješenja na poljoprivrednim strojevima, te uvesti mjere i postupke koje bi rezultirale minimalnim utjecajem na ekosustav. Razvoj strojeva i uređaja za aplikaciju pesticida od iznimnog je značenja u suvremenoj poljoprivredi.

Krajem pedesetih godina prošloga stoljeća pod utjecajem poljoprivredne tehnike, genetike, zaštite bilja i gnojidbe, udvostručeni su prinosi gotovo svim poljoprivrednim kulturama. Ovo je rezultat navedenog tehnološkog napretka, ali i sve veće potrebe za hranom rastućeg svjetskog stanovništva. Stoga, poljoprivreda postaje jedan od strateških dijelova gospodarstva svake zemlje svijeta. Kako razvijene zemlje svijeta imaju hiperprodukciju hrane, tako i poljoprivreda postaje jedan od najvećih zagađivača okoliša. Negativni utjecaj poljoprivredne tehnike na ekosustav mogu se podijeliti na biološku degradaciju i destrukciju te emisiju štetnog otpada. Biološka degradacija i destrukcija karakterizira se primarno u oštećenju tala i živih organizama koji egzistiraju u istom. U skupinu biološke degradacije i destrukcije ulazi i izravno uništavanje flore i faune između ostalog i kemijskom zaštitom bilja. (Tadić, 2010.)

Poljoprivredi je danas na raspolaganju djelotvorna tehnika za aplikaciju zaštitnih sredstava u pogledu visokoga kapaciteta, usmjeravanja na ciljanu površinu, ujednačenosti nanošenja i obzirnost prema okolišu. Kako cjelokupna svjetska tehnologija napreduje tako napreduju i tehnički sustavi u zaštiti bilja. Raspršivači su uređaji koji se prvenstveno koriste u voćnjacima i vinogradima za apliciranje zaštitnih sredstava, te pojedinačnih visokih stabala (orah, smokve, maslina i sl.). Primjenjuju se u šumarstvu, rasadnicima i za dezinfekciju skladišnih prostora. Rjeđe se koriste u ratarstvu i to samo za aplikaciju insekticida i fungicida. Koriste znatno manju količinu vode po jedinici površine za razliku od prskalica. Dostupni su različiti oblici raspršivača sa različitim tehničkim izvedbama ventilatora, usmjerivača zraka, položaja mlaznica i ostalog. Mogu se koristiti raspršivači sa aksijalnim i

radijalnim ventilatorom, raspršivači sa tangencijalnim usmjerivačima, raspršivači sa fleksibilnim vodovima i drugi. Nabrojane izvedbe raspršivača koriste se za različite uzgojne oblike trajnih kultura te uvelike utječu na kvalitetu raspršivanja pesticida, tj. na pokrivenost tretirane površine, veličinu kapljica mlaza i depozit pesticida po trajnom nasadu (Košutić i sur., 2014.). Uz tehničku ispravnost radnog stroja u zaštiti bilja posebice je važno pravilno podesiti parametre prskanja – brzinu rada stroja, radni tlak, količinu zraka, količinu tekućine po jedinici površine i tip mlaznice.

U ovome istraživanju ispitivati će se utjecaj raspršivača s radijalnim ventilatorom preko glavnih tehničkih čimbenika raspršivanja (tip mlaznice, brzina rada stroja te norma raspršivanja) na pokrivenost tretirane lisne površine. Statističkom obradom podataka dobivenih istraživanjem biti će dan zaključak koje podešavanje tehničkih čimbenika raspršivanja rezultira najvećom pokrivenošću površine u trajnim nasadima jabuka.

2. PREGLED LITERATURE

Raspršivanje je način tretiranja pesticida u tekućem obliku kapljicama veličine od 50-150 mikro milimetara. (Berčić, 1987).

Tijekom eksploatacije raspršivača moraju se poštovati temeljni tehnički čimbenici raspršivanja jer navedeni determiniraju kvalitetu zaštite bilja. Prema tome, pri zaštiti bilja mora se osigurati optimalna: zračna struja ventilatora, kvalitet mlaza, brzina rada stroja, količina tekućine za prskanje, optimalna mlaznica i ostalo. Uz navedene tehničke čimbenike raspršivanja, pri izvođenju aplikacije moraju se poštovati vremenski uvjeti te rukovatelj stroja mora posjedovati osnovna znanja za rukovanje. Također, vrlo važan utjecaj na kvalitet zaštite bilja ima morfologija krošnje kulture u kojoj se obavlja zaštita. Dakle, istraživanja u prvom desetljeću ovoga stoljeća tendiraju prema stanovištu da se pravilnim podešavanjem tehničkih čimbenika raspršivanja postiže bolji učinak zaštite bilja. Kemijsko sredstvo dolazi na zadnje mjesto ispunjavanja uvjeta zaštite bilja. Korištenjem tehnički ispravnog stroja, povećavanjem pokrivenosti površine te poštivanjem vremenskih uvjeta uvelike se smanjila količina kemijskog sredstva po tretiranoj površini uz isti biološki učinak (McFadden - Smith, W., 2003).

2.1. Veličina kapljica

Za pokrivenost površine i depozit tekućine na cilj prskanja najvažniji parametar je veličina kapljica, te on određuje intenzitet pokrivenosti površine i depozita. Ukoliko se radi o malim kapljicama (manje od 250 μm - *BCPC*¹, *ASAE*²) pokrivenost površine je veća, a ako se radi o velikim kapljicama (veće od 350 μm - *BCPC*, *ASAE*) pokrivenost površine je manja (Banaj Đ. i sur. 2010). *ASAE* standard je novijeg datuma i temeljen je na podacima od *BCPC* standarda. Granice veličine kapljica prema ova dva standarda razlikuju se 50 μm . Matthews, G.A. (1979) daje podatak da je za suzbijanje letećih insekata potrebna veličina kapljica od 10 - 50 μm , za insekte na tlu 20 - 100 μm , za biljne bolesti 20 – 200 μm te za štetnike na tlu 250 – 500 μm . Dakle, povećanjem broja kapljica, tj. njihovim smanjivanjem povećava se mogućnost suzbijanja štetočina. Najbolji biološki učinak fungicida ostvaruje se sa 80 do 90 kapljica na kvadratni centimetar, a za insekticide 60 – 70 kapljica (Deveau, S.T., 2010). Veći broj kapljica po kvadratnom centimetru postiže se povećavanjem radnog tlaka (Wolf, R.E. i sur. 1999), tj. povećavanjem radnog tlaka postiže se veća pokrivenost površine (Porrás

¹ British Council for Crop Protection (1985.)

² ASAE (American Standards for Agricultural Engineering) standard, S – 572.1 (ožujak, 2009.)

Sorriano i sur., 2005). Kada se radi o upotrebi skupih pesticida, zahtijeva se uniformna i velika pokrivenost površine biljke da se ostvari izravni kontakt pesticida sa štetočinama (Frankel, H., 1986). Ako se zaštita bilja obavlja sa malom pokrivenošću površine, dolazi do slabe kontrole bolesti iako je zaštita obavljena u pravo vrijeme (Furness, G. i sur., 2003). Ova pojava vrlo je česta na hrvatskim poljoprivrednim površinama, gdje se trajne kulture prskaju više od 20 puta tijekom vegetacije. Razlog navedenom često su neadekvatno podešeni raspršivači te neispravni sastavni dijelovi strojeva, prvenstveno mlaznice i manometri (Banaj, Đ. i sur., 2010). Ostvarivanjem velike pokrivenosti tretirane površine, moguće je smanjenje dozacije pesticida po jedinici površine uz isti biološki učinak (McFadden – Smith, W., 2003).

Istraživanja autora Wolf, R.E. i sur. (1999) su pokazala da se povećavanjem radnog tlaka smanjuje veličina kapljica. U istraživanju korištena je Dropletsan metoda određivanja veličine kapljica za dvije vrste mlaznica i pri dva različita radna tlaka. Tako je mlaznica XR 11004 pri tlaku od 138 kPa ostvarila VMD od 506 μm , te VD0.1 312 μm i VD0.9 661 μm . Ista mlaznica pri radnom tlaku od 551 kPa ostvarila je VMD od 350 μm te VD0.1 350 μm i VD0.9 504 μm . Druga ispitivana mlaznica bila je zračno – injektorska AI 11004 te je pri tlaku od 138 kPa ostvarila VMD od 663 μm uz VD0.1 381 μm i VD0.9 788 μm . Ista zračno – injektorska mlaznica pri tlaku od 551 kPa ostvarila VMD od 582 μm uz VD0.1 341 μm i VD0.9 745 μm . Iz navedenih tvrdnji jasno se zaključuje da se povećavanjem radnog tlaka smanjuje veličina kapljica te da zračno – injektorske mlaznice ostvaruju veće kapljice s obzirom na standardne mlaznice pri oba radna tlaka. Slično istraživanje obavio je Etheridge, R.E. i sur. (1999), koji je istraživao spektar kapljica pri prskanju sa različitim sredstvima i različitim mlaznicama. Došao je do zaključka da su kapljice manje od 205 μm u mlazu zračno – injektorskih mlaznica zastupljene sa 17%, dok je taj broj kod standardnih mlaznica iznosio 65% (crvene mlaznice i radni tlak od 3 bar). Cross, J.V. i sur. (2003) u svom istraživanju obavljaju ispitivanje utjecaja tri veličine kapljica na pokrivenost površine (VMD 156 μm – vrlo male kapljice; VMD 198 μm – male kapljice i VMD 237 μm – kapljice srednjih veličina). Najveća pokrivenost tretirane površine utvrđena je kod malih kapljica, jer su manje osjetljive na zanošenje od vrlo malih kapljica, a ostvaruju veću pokrivenost od kapljica srednjih veličina.

Autori Wolf, T. i Caldwell, B. (2006) su proučavali broj kapljica po kvadratnom centimetru pri zaštiti bilja sa tri različite norme raspršivanja po hektaru (45, 85 i 125 l/ha) i tri različite veličine kapljica (kapljice srednjih veličina – 295 μm ; velike kapljice 370 μm i vrlo velike kapljice – 510 μm). Analiza pokrivenosti površine preko VOP-a pokazala je da

se broj kapljica po kvadratnom centimetru smanjuje kada se smanjuje norma raspršivanja ili kada se povećava veličina kapljica. Kombinacija malih normi raspršivanja po hektaru sa velikim kapljicama ostvaruje najlošije rezultate, tj. ostvaruje se najmanji broj kapljica po kvadratnom centimetru. Također navode, da se pri normama po hektaru većim od 85 l mogu koristiti velike kapljice.

Uz veličinu kapljica postoje mnogi drugi faktori koji uvjetuju učinkovitost zaštite bilja, a neki od njih su: obučeni rukovatelj, doba vegetacije, LAI (leaf area index), habitus biljke, učinkovitost stroja (zračna potpora, brzina rada, obujam prskanja, tip usmjerivača zraka, kut prskanja mlaznica, uzorak mlaza), vremenski uvjeti, metoda prskanja i ostali (Praat, J.P. i sur., 1996; Tadić, V. i sur., 2009). Autor Williams, W. i sur. (1999) navodi da su veličina kapljica, tip mlaznice i radni tlak, glavna tri čimbenika s kojima manipulira da bi se ostvarila najveća moguća pokrivenost tretirane površine.

2.2. Brzina zraka i protok pri radu raspršivača

Mnogi svjetski autori navode da su brzina i protok zraka vrlo važni tehnički čimbenici zaštite trajnih nasada. Randall, J.M. (1971) navodi da je brzina zraka vrlo važna te da mora iznositi minimalno 12,2 m/s na vanjskim rubovima krošnje. Povezano s navedenim, Zhu, H. i sur. (2006) utvrđuju smanjenje brzine zraka s 40 m/s na izlazu iz usmjerivača zraka na 19,4 m/s kad struja zraka počne doticati rubove krošnje na udaljenosti od 1,79 m od raspršivača (aksijalni raspršivač bez visinskih usmjerivača zraka). Smanjenje brzine zraka nastaje zbog trenja s okolnim zrakom pa Fox, R.D. i sur. (1992) navode da je na udaljenosti do 3,5 od usmjerivača zraka manja oko 60 %. Stoga, pri određivanju brzine zraka za pojedini nasad treba voditi računa da optimalna brzina zraka stiže do cilja raspršivanja (Zhu, H. i sur., 2006). Fox, R.D. i sur. (1998) navode da je povećana brzina zraka na izlazu usmjerivača zraka preduvjet za bolji depozit i pokrivenost površine unutar krošnje. Ovo nije slučaj kada u nasadima prevladava mala lisna površina (mladi trajni nasadi i nasadi u početnim fazama vegetacije), pa povećavanje brzine zraka dovodi do povećanog zanošenja kapljica (Landers, A. i sur., 2004). Za nasade koji imaju bujnu krošnju ili koji su u kasnijim razvojnim fazama, treba koristiti strojeve koji mogu razviti veću brzinu zraka zbog ostvarivanja dobrog koeficijenta pokrivenosti u središnjem dijelu krošnje (Banaj, Đ. i sur., 2010). Banaj, Đ. i sur. (2010) preporučuju testiranje strojeva prema maksimalno ostvarenoj brzini i protoku zraka za pojedini trajni nasad. U njihovom istraživanju testirana su tri različita aksijalna raspršivača (*Tifone Vento*, *Myers N1500* i *Hardi Zenit*) od kojih je *Hardi Zenit* ostvario najveći protok zraka od 44.590 m³/h.

Vrlo često se događa da kod uzgojnih oblika koji su viši od 3 m optimalna brzina zraka ne dolazi do vršnih grana. Pokrivenost površine tih djelova krošnje je relativno mala i štetnici nalaze mjesta na kojima će preživjeti utjecaj pesticida. Razlog navedenom je nepravilno podešna brzina zraka na usmjerivačima ili korištenje neadekvatnog raspršivača. Ovi problemi mogu se riješiti pravilnim optimiranjem brzine zraka po cijeloj vertikalnoj osnovici kulture ili korištenjem radijalnih raspršivača s tangencijalnim usmjerivačima. Naravno, moguće je korištenje i specijalnih izvedbi aksijalnih raspršivača sa visinskim usmjerivačima zraka (Manktelow, D.W., 1998). Brzina zraka često se kombinira sa čimbenicima brzine kretanja raspršivača i norme raspršivanja. Tako je Marucco, P. i sur. (2008) istraživao utjecaj šest različitih brzina rada raspršivača (3,9 – 13 km/h), šest različitih brzina zraka (3,7 – 23 m/s) i četiri različite norme raspršivanja (200 – 1.000 l/ha) u nasadu breskve. Istraživanje je pokazalo da je najbolji rezultat pokrivenost površine i depozita ostvaren pri brzini rada stroja od 7 km/h, brzini zraka od 14 m/s i normi raspršivanja od 400 l/ha.

Berčić, S. (1999) navodi da je za depoziciju kapi od posebnog značaja brzina rada stroja i brzina zračne struje. Male kapi u laminarnoj struji slijede strujnice zraka i zaobilaze prepreku (bitno za pokrivenost površine unutar krošnje), dok velike kapi zbog svoje inercije ne zaobilaze prepreke nego se deponiraju na njima (na vanjskim listovima krošnje). Ova tvrdnja govori u prilog malim kapljicama, jer probijaju duboko u krošnju i ostvaruju dobre depozite i pokrivenost površine unutar krošnje.

2.3. Zanošenje tekućine (drift)

Zanošenje tekućine, tzv. drift je fizički pokret čestica tekućine kroz zrak u trenutku apliciranja ili ubrzo nakon toga, na bilo koju površinu osim one za koju je postupak apliciranja namijenjen. Zanošenje tekućine se događa uslijed korištenja raspršivača ili drugih uređaja za apliciranje tekućine. Ti uređaji pomoću mlaznica propuštaju određeni dio tekućine van, u vidu sitnih kapljica. Brojni faktori utječu na zanošenje kapljica tekućine, kao što su vremenski uvjeti, topografija, biljka ili tlo za koje je apliciranje namijenjeno, tehnički parametri uređaja za apliciranje, rukovatelj i drugi. Zanošenje tekućine može napovoljno utjecati na ljudsko zdravlje te na okoliš. Treba voditi računa o granici smanjenja kapljica tekućine, a da pri tome ostane dobar biološki učinak.

Pri zaštiti poljoprivrednih kultura treba poštovati pravila struke koja nalažu da se sa standardnim mlaznicama može obavljati zaštita bilja samo onda kada to vremenski uvjeti dopuštaju (Tadić, V. i sur., 2009). Ovo se prvenstveno odnosi na tri vremenska čimbenika: relativnu vlažnost zraka iznad 50%, temperaturu ispod 20 °C i brzinu vjetra manju od 4 m/s. Ako su na uređaju instalirane *low drift* ili zračno – injektorske mlaznice, zaštita bilja može se obavljati i pri nepovoljnijim vremenskim uvjetima. Isti autor navodi načela smanjenja zanošenja prije i za vrijeme zaštite bilja. Prije prskanja vodi se računa o: planiranju akcije prskanja samo kada to vremenski uvjeti nalažu, odabiru najprihvatljivije mlaznice i radnog tlaka, korištenju aditiva koji smanjuju zanošenje, provjeri prskalice sa čistom vodom prije samog rada, osiguravanju potrebne logistike prskanja tako da se aplikacija obavi u što kraćem vremenskom razdoblju i ostalo. Ako aplikacija već traje, zanošenje se može smanjiti na nekoliko načina: rukovatelj prskalice mora ostati pažljiv te ako se vremenski uvjeti pogoršaju treba prekinuti aplikaciju, održavanjem konstantnog radnog tlaka za vrijeme trajanja aplikacije, održavanjem konstantne brzine kretanja stroja i ostalo. Ulaskom Hrvatske u EU prihvaćeni su pravilnici koji zabranju aplikaciju pesticida blizu otvorenih vodotokova, prema poštivanju vodozaštitne, tzv. *buffer zone*.

Male kapljice dobivaju se pri radu mlaznica s manjim ISO brojem, tj. kod mlaznica sa manjim protokom (narančaste s oznakom 01, zelene s oznakom 015 i žute sa oznakom 02), a povećanjem protoka povećava se veličina kapljica kod mlaznica s većim ISO brojevima (plava s oznakom 03, crvena s oznakom 04, smeđa s oznakom 05 i siva s oznakom 06) (Nuyttens, D. i sur., 2006; Banaj, Đ. i sur., 2010). S obzirom na ISO broj, svaka mlaznica ostvaruje nazivni protok pri određenom radnom tlaku te stvara specifični spektar kapljica. Mlaznice manjih ISO brojeva ostvaruju manje kapljice te je mogućnost zanošenja kapljica veća.

Negativna strana malih kapljica (promjer manji od 200 μm) očituje se u tome da su podložne zanošenju, te da gubitci zanošenjem malih kapljica sežu sve do 70% (Ozkan, H.E., 1998). Wolf, R.E. i Minihan, C.L. (2003) istraživali su broj kapljica u mlazu manjih od 200 μm pri radnom tlaku od 276 kPa i normi prskanja od 47, 94 i 187 l kod zračno – injezerskih (*AI*), standardnih (*XR*) i *turbo* lepezastih (*TT*) mlaznica. Pri normi prskanja od 47 l/ha broj kapljica manjih od 200 μm iznosio je: 2.580 za mlaznicu *XR110015*; 1.612 za mlaznicu *TT11015* i 590 za mlaznicu *AI 110015*. Povećavanjem norme prskanja na 94 l/ha ostvareni su slijedeći rezultati: 1.975 kapljica manjih od 200 μm za mlaznicu *XR110015*; 1.012 za mlaznicu *TT11015* i 589 za mlaznicu *AI 110015*. Pri najvišoj normi prskanja od 187 l/ha rezultati su slijedeći: 1.028 kapljica manjih od 200 μm za mlaznicu *XR110015*; 848 za mlaznicu *TT11015* i 663 za mlaznicu *AI 110015*. Iz navedenog se može zaključiti da standardne mlaznice proizvode puno više kapljica manjih od 200 μm nego zračno – injezerske i *turbo* mlaznice. Dakle, pri radu standardnih mlaznica veća je vjerojatnost zanošenja nego pri radu ostala dva tipa mlaznica. Također, vidljivo je da se povećavanjem doze po hektaru smanjivao broj malih kapljica kod sva tri tipa mlaznica. Povezano s ovim istraživanjem autori Ozkan, H.E. i Derksen, R.C. (1998) navode da se pri radu *TT 11005* mlaznica i radnom tlaku od 2,5 bar, u mlazu nalazilo 4% kapljica koje su manje od 100 μm .

Intenzitet zanošenja se mjeri sa VOP-ima koji se postavljaju na različite udaljenosti od cilja prskanja (Ozkan, H.E., 1998). Iz navedenog se zaključuje da je veličina kapljica glavni čimbenik aplikacije pesticida s kojim se manipulira da bi se ostvarili željeni rezultati zaštite bilja, tj. optimizacija između veličine kapljica, radnog tlaka i tipa mlaznice (Williams, W. i sur., 1999). Ozkan, H.E. (2004) navodi da su kapljice manje od 200 μm najosjetljivije na zanošenje, tj. odnošenje izvan nasada ili isparavanje. Isti autor (1998) navodi da kapljice promjera 25 μm pri temperaturi od 23,88 °C i relativnoj vlažnosti zraka od 100% mogu biti zanešene i do 119,27 m od cilja prskanja, a iste kapljice pri većim temperaturama i manjim vlažnostima zraka potpuno ispare prije nego što dođu do cilja prskanja. Iz navedenih istraživanja zaključuje se da pojavom zanošenja definira bilo koji gubitak sredstva za zaštitu bilja, tj. gubitak tekućine isparavanjem i zanošenjem od cilja prskanja.

2.4. Mlaznice na tehničkim sustavima u zaštiti bilja

Zadatak mlaznica je raspršivanje i usmjeravanje sredstva za zaštitu na željenu površinu. Mlaz mora biti s takvim spektrom kapljica da što bolje i ravnomjernije rasporedi sredstvo za zaštitu na željenu površinu. Kvalitetu prskanja i rada samog uređaja ocjenjujemo prema kvaliteti nanošenja kapljica, a što pretežno ovisi o radu mlaznica. Svaki tip mlaznice ima specifični mlaz, koji ima karakterističan oblik i sastav kapljica. Oblik mlaza je mjerilo za distribuciju i način korištenja mlaznice. Kod prskanja je vrlo važan radni tlak, a koji utječe na protok, sastav kapljica, domet i kut prskanja.³

Mlaznice svojim radom propuštaju tekućinu te procesom kapljevinske erozije povećavaju izlazni otvor što dovodi do povećavanja protoka i veličina kapljica te nepravilne raspodjele tekućine. Potrošene mlaznice treba što prije zamijeniti novima da bi se osigurala pravilna raspodjela tekućine i uniformna pokrivenost tretirane površine (Tadić, V. i sur., 2009). Duvnjak, V. i sur. (1998) navode da se mlaznice sa manjim izlaznim otvorom brže troše od mlaznica sa većim otvorom, te da potrošene mlaznice imaju znatno veći protok tekućine u centru mlaza u odnosu na nove. Slična pojava događa se i kod zračno – injektorskih mlaznica gdje se povećavanjem venturijeva otvora povećava i veličina kapljica (Butler Ellis i sur., 2002). Navedene mlaznice rijetko se koriste u voćarstvu i vinogradarstvu, osim u slučajevima visoke temperature zraka i veće brzine vjetra.

Mnogi autori proučavali su odnos veličine radnog tlaka i *ISO* broja mlaznice, te su istraživanja pokazala da se povećavanjem radnog tlaka smanjuje veličina kapljica u mlazu (Ozkan, H.E., 1998; Wolf, R.E. i sur., 1999; Šumanovac, L. i sur., 2008). Veliki broj autora utvrdili su da zračno – injektorske mlaznice proizvode veće kapljice nego standardne mlaznice kod istog *ISO* broja i pri istom radom tlaku. Kao rezultat ovog svojstva, navedene mlaznice ostvaruju manji depozit i manju pokrivenost površine te proizvedene kapljice koje su više otporne na zanošenje i isparavanje (Ozkan, H.E., 1998).

Na tržištu Republike Hrvatske mogu se naći različite mlaznice nerenomiranih proizvođača koje ne odgovaraju *ISO* standardima. Osim što im je upitan nazivni protok, upitna im je i površinska raspodjela tekućine sa velikim koeficijentima varijacije (Banaj, Đ. i sur., 2009, 2010; Tadić, V., i sur., 2010).

³ Agro Elektronika d.o.o. (2016): <http://agro-elektronika.hr/index.php/prskalice-i-rasprisivaci>

2.5. Vodoosjetljivi papirići (VOP)

Površina VOP-a je žute boje i na površini se nalaze spojevi s bromom koji u dodiru s kapljicama vode mijenjaju boju, odnosno prelaze iz žute u plavu boju. Stoga pri analizi slike jasno se može odrediti postotak žute ili plave boje, tj. postotak pokrivenosti ili nepokrivenosti površine (Wolf, R.E., 1999, Banaj, Đ. i sur., 2010).

Vodoosjetljivi papirići se postavljaju na nekoliko različitih visina u nasadima pri poljskom ispitivanju, ovisno da li se radi o trajnom nasadu ili ratarskoj kulturi (nikako manje od tri). Također, da bi se dobio što reprezentativniji podatak pokrivenosti površine, VOP-i se postavljaju na lice i na naličje lista i to 0,3 - 0,4 m unutar krošnje (Salyani, M. i Fox, R.D., 1999). Na svakoj ispitivanoj visini treba biti postavljeno minimalno pet VOP-a (Manktelow, D.W., 1998; Banaj, Đ. i sur. 2010). Podaci o pokrivenosti površine unutar jedne krošnje mogu značajno varirati te se ostvaruju koeficijenti varijacija 40 – 80% (Praat, J.P i sur., 1996).

VOP ima nekoliko ograničavajućih čimbenika glede poljskih ispitivanja tehničkih čimbenika prskanja. Istraživanja se obavljaju samo kada je relativna vlažnost zraka manja od 80% jer pri većim vlažnostima VOP-i apsorbiraju vlagu iz zraka te poplave bez doticaja tekućine (Holownicki i sur., 2002; Banaj, Đ. i sur., 2010). Ako se istraživanje obavlja sa većim normama raspršivanja (l/ha) postoji mogućnost „kupanja“ VOP-a i dobivanja netočnih rezultata. Stoga, pri istraživanju se ne treba koristiti norma prskanja veća od 450 l/ha (Salyani, M. i sur., 1999). Wolf, R.E. i sur. (1999) navode da kod analize slike s manjim rezolucijama i metodama sa skeniranjem postoji mogućnost da računalni sustavi ne mogu analizirati kapljice manje od 10 μ m koje daju otisak na VOP-u. Također, kada se pokupe uzorci VOP-a sa kulture, stavljaju se u PVC vrećice ili kartonske kutije u kojima se mora nalaziti sredstvo koje će vezivati vlagu iz zraka (Wolf, R.E. i sur. 2006). Panneton, B. i sur., (2002) pri ispitivanju tehničkih čimbenika prskanja utvrđuju standardnu pogrešku od 3,5% pri radu sa VOP-ima.

2.6. Metode evaluacije pokrivenosti tretirane lisne površine pomoću vodoosjetljivih papirića (VOP) i računalna analiza slike

VOP-i (vodoosjetljivi papirići) koriste se dugi niz godina u poljoprivrednim poljskim istraživanjima (Wolf, R.E., 2004) te su postali najpopularnija metoda za evaluaciju pokrivenosti površine, veličine i broja kapljica kako na ratarskim kulturama tako i u trajnim nasadima (Wolf, R.E. i sur., 1999; Banaj, Đ. i sur., 2010).

Pomoću njih određuje se veličina kapljica, ali se koriste korekcijski faktori jer kapljica na VOP-u ostavlja veći otisak nego što je uistinu njezin promjer te se navedeno

izražava koeficijentom razljevenosti kapljice (Šumanovac, L. i sur., 1994). Ovi faktori određeni su eksperimentalno i ne mijenjaju se pri uporabi *Syngenta* i *CIBA* VOP-a. Dakle, ako se pomoću VOP-a određuje veličina kapljica, koriste se faktori preračunavanja koji su laboratorijski određeni za standardne VOP-e (*Syngenta* i *CIBA*). Kapljica koja padne na VOP poveća svoj promjer te tako daje netočan podatak o veličini kapljice, tj. prelazi iz trodimenzionalnog stanja u dvodimenzionalno. Stoga, primjenom laboratorijski određenog korekcijskog faktora izbjegavaju se greške o veličini kapljica. Faktori preračunavanja određeni su pomoću magnezij oksid metode (May, K.R. 1950), a usavršeni su metodom koja koristi silikonsko ulje (Harz, M. i Knoche, 2001). Dobivene korekcijske faktore za određivanje veličine kapljica koriste znanstvenici širom svijeta u svjetski poznatim časopisima (Fox, R.D. i sur., 2003). Sa podatkom veličine kapljica razvrstanih po razredima veličina, izračunavaju se različiti oblici srednjih volumnih promjera kapljica – aritmetički promjer, srednji volumni promjer i ostalo (Wolf, R.E., 1999).

Metoda sa VOP-ma je svjetski najprihvatljivija metoda za poljsko određivanje navedenih čimbenika (srednji promjer kapljica, broj kapljica po kvadratnom centimetru, pokrivenost tretirane površine i slično) dok se u laboratoriju koristi laserska metoda s *PDPA* (*Phase Doppler Particle Analyser*). Metoda je skupa i vrlo točna, te je koristi nekoliko instituta u Europi (Nuyttens, D. i sur., 2007). Ovisno o metodi obrade VOP-a, rezolucija slike kreće se od 15,6 μm /piksel do 30 μm /piksel. Metode *USDA – ARS*, *DopletScan* i *Swat Kit 3.0* sa faktorima za preračunavanje veličine kapljica daju približno isti podatak o veličini kapljica za sve tri metode do veličine kapljica od 800 μm (Hoffman, W.C. i Hewitt, A.J., 2005). Navedene tri metode pokazale su statistički značaj u međusobnim interakcijama pa se utvrđuje da su metode pouzdane i daju pravi podatak o pokrivenosti površine i veličine kapljica.

3. CILJEVI ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZA

Pretpostavka u ovom istraživanju je da se povećanjem brzine kretanja raspršivača (km/h) i povećavanjem norme raspršivanja (l/ha) povećava pokrivenost tretirane površine uz povećanje radnog tlaka (bar). Osim toga, cilj je i provjeriti hipotezu da se smanjivanjem *ISO* broja mlaznice povećava pokrivenost tretirane površine.

Navedene tvrdnje će se ispitati poljskim pokusom kroz eksploataciju raspršivača s radijalnim sustavom strujanja zraka. Prilikom rada radijalnog raspršivača kombinirati će se različito postavljene glavni tehnički čimbenici raspršivanja (*ISO* broj mlaznice, brzina rada uređaja, te norma raspršivanja) da se dobije spoznaja o koeficijentu pokrivenosti lisne površine, tj. postotku pokrivenosti tretirane površine pri svakom tretmanu. Statističkom obradom podataka (relevantne statističke metode: analiza varijance, korelacija i regresija, *LSD post hoc* test, *sign* test) istraživanja donijeti će se zaključak koje podešavanje tehničkih čimbenika raspršivanja rezultira najvećom pokrivenošću površine u trajnim nasadima jabuka, te će se njihovom interakcijom odrediti statistički značajna razlika za svaki tretman.

Glavni cilj ovog istraživanja biti će provjeriti navedenu hipotezu za radijalni raspršivač u nasadu jabuke praćenjem slijedećih svojstava u poljskom pokusu:

- utvrđivanje utjecaja *ISO* broja mlaznice na pokrivenost tretirane lisne površine, broj kapljica po centimetru kvadratnom, promjer kapljica i zanošenje tekućine
- utvrđivanje utjecaja radne brzine raspršivača na pokrivenost tretirane lisne površine, broj kapljica/cm², promjer kapljica i zanošenje tekućine
- utvrđivanje utjecaja norme raspršivanja na pokrivenost tretirane lisne površine, broj kapljica/cm², prosječni promjer kapljica i zanošenje tekućine

Prilikom istraživanja praćen je utjecaj radnog tlaka na dana svojstva istraživanja te je korištena različita radna brzina i protok zračne struje. Uz navedena svojstva istraživanja utvrđuju se i koeficijenti *LAI* te *LAD* za trajni nasad jabuka.

Na temelju ranije navedenih ciljeva dobiti će se rezultati istraživanja pomoću kojih će se empirijski zaključiti da li je postavljena hipoteza utemeljena.

4. MATERIJAL I METODE

4.1. Raspršivač *Hardi Arrow*

Hardi Arrow je radijalni vučeni raspršivač, sa slijedećim dimenzijama: dužina raspršivača 3,0 m, visina raspršivača 2,1 m i širina raspršivača 1,5 m. Promjer ventilatora iznosi 800 mm kojeg čine 40 prilagodljivih lopatica. Maksimalni ostvarivi protok zraka se kreće do 27.000 m³/h. Dijelovi ventilatora i lopatica izrađeni su od aluminija i sintetičkih polimera pa su otporni na udarce stranih predmeta. Na raspršivač je instalirana *Hardi* klipno – membranska crpka kapaciteta 140 l/min (model crpke 363 s dvije membrane) pri radnom tlaku od 20 bar. Također, na raspršivač je instaliran elektronski uređaj (*ECV*) za kontrolu i upravljanje raspršivanja (*Hardi Matic*). Mlaznice su kod ovog raspršivača poslagane na krajevima savitljivih vodova i to jedna mlaznica u svakome vodu te je ukupno pet vodova sa svake strane stroja. Struja zraka iz radijalnog ventilatora prolazi kroz savitljive vodove i zahvaća tekućinu iz mlaznica. Time se obavlja hidropneumatska dezintegracija mlaza i nošenje tekućine na cilj raspršivanja. Raspršivač ima obujam spremnika od 1.000 l.⁴ Prije početka poljskih pokusa podrazumijeva se da je raspršivač testiran te prolazi europsku normu *EN 13790*.



Slika 1. Raspršivač *Hardi Arrow* (izvor: Tadić V.)

⁴ Hardi International (2016): <http://www.hardi-international.com/global/products/mistblowers/mercury-arrow-orchard/features-and-specs/features/>

4.2. Lechler TR 80 mlaznice

U istraživanju su na ovom radijalnom raspršivaču instalirane mlaznice *Lechler TR 80* koje su označene kao faktor A u statističkoj obradi podataka. U obradi podataka prvo je ispitivan utjecaj tipa mlaznice na pokrivenost površine. Korištena su tri tipa mlaznica:

- *Lechler TR 80 – 03*
- *Lechler TR 80 – 02*
- *Lechler TR 80 – 015*

Svaki od navedenih tipova mlaznica označen je pojedinom bojom koja odgovara kapacitetu mlaznice (protoku tekućine), pri određenom radnom tlaku. Mlaznica *Lechler TR 80 – 03* je označena plavom bojom, mlaznica *Lechler TR 80 – 02* je označena žutom bojom, a mlaznica *Lechler TR 80 – 015* je označena zelenom bojom (slika 2.).



Slika 2. *Lechler TR 80* mlaznice

Kodiranje mlaznica prema bojama određeno je *ISO 10625* standardom. Prema standardu svaka mlaznica uz navedenu boju ostvaruje specifični protok tekućine u američkim galonima (1 AG = 3,785 l), te je definirana radnim kutom i protokom. Korištene mlaznice u ovome istraživanju ostvaruju radni kut od 80° i specifične protoke tekućine od 0,3 (plava), 0,2 (žuta) i 0,15 (zeleno) AG/min pri radnom tlaku od 2,756 bar. Stoga, mlaznice prema *ISO 10625* standardu ostvaruju slijedeće protoke tekućine, tj. nazivne kapacitete:

- *Lechler TR 80 – 03*, plava boja: 0,3 AG/min ili 1,19 l/min
- *Lechler TR 80 – 02*, žuta boja: 0,2 AG/min ili 0,80 l/min
- *Lechler TR 80 – 015*, zelena boja: 0,15 AG/min ili 0,59 l/min

U daljnjem tekstu koristiti će se protoci prema SI sustavu jedinica (l/min). U tablici 1. prikazan je pregled protoka koje mlaznice pri određenim radnim tlakovima ostvaruju i time odgovaraju ISO standardu. Povećanje protoka mlaznice s obzirom na povećanje radnog tlaka nije linearno, nego se za dobivanje dvostrukog iznosa protoka mlaznice, radni tlak treba povećati četiri puta.

Tablica 1. Pregled protoka mlaznica prema ISO 10625 standardu

| | | Protok, l/min | | | | | | | | | |
|----------|------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Radni tlak, bar | | | | | | | | | |
| Mlaznica | Sito | 3 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| TR 80015 | 50 M | 0,59 | 0,76 | 0,90 | 1,02 | 1,07 | 1,13 | 1,22 | 1,31 | 1,40 | 1,48 |
| TR 8002 | 50 M | 0,80 | 1,03 | 1,22 | 1,38 | 1,45 | 1,53 | 1,67 | 1,79 | 1,90 | 2,01 |
| TR 8003 | 50 M | 1,19 | 1,53 | 1,81 | 2,06 | 2,17 | 2,28 | 2,48 | 2,66 | 2,83 | 2,99 |
| TR 8004 | 50 M | 1,58 | 2,04 | 2,41 | 2,74 | 2,88 | 3,03 | 3,29 | 3,53 | 3,76 | 3,98 |
| TR 8005 | 25 M | 1,97 | 2,55 | 3,01 | 3,42 | 3,60 | 3,77 | 4,10 | 4,41 | 4,69 | 4,96 |

izvor: www.lechler.de

U praksi se radi lakšeg računanja često koriste okvirni protoci mlaznica (zaokruženi na cijele vrijednosti). Tako se za mlaznicu 03 koristi protok od 1,2 l/min, za mlaznicu 02 koristi se protok od 0,8 l/min te za mlaznicu 015 koristi se protok od 0,60 l/min. Navedeni protoci dobiveni su množenjem protoka izraženog u američkim galonima i koeficijenta 4 (jedinica 1 AG \approx 4 l, a radni tlak \approx 3 bar).

Već je navedeno da *Lechler TR 80* mlaznice ostvaruju mlaz pod radnim kutom od 80° koji je šuplje konusne izvedbe i većinom se koristi u zaštiti voćnjaka i vinograda. Mlaz ulazi u zračnu struju te se hidropneumatskom dezintegracijom nanosi na cilj zaštite.

Mlaznice su izrađene od plastičnih polimera sa keramičkim uloškom koji se može izvaditi iz tijela mlaznice radi čišćenja. Oko mlaznice u nosaču raspršivača instaliran je gumeni zaptivač koja sprječava kapanje tekućine te su ugrađeni protukapajući ventili i pročistači mlaznica (50 *mesh*).

4.3. Utvrđivanje brzine i protoka zraka

Ventilatori rotacijom lopatica stvaraju određenu brzinu i protok zraka koji su važni tehnički čimbenici raspršivanja te imaju funkciju dezintegracije mlaza i nošenja tekućine na cilj prskanja. Brzina i protok stvaraju struju zraka s turbulentnim vrtloženjem, čija je uloga pomicanje grana i listova koji omogućuju prolazak tekućine do sredine krošnje te pokrivanje obje strane lista (tzv. „otvaranje krošnje“). Radijalni ventilatori stvaraju veliki tlak i brzinu zraka, ali imaju mali protok zraka.

Vrlo je značajno da optimalna brzina zraka dolazi do cilja prskanja, tj. da cijeli predmet zaštite (trs/stablo) ima podjednaku brzinu zraka na vanjskim rubovima krošnje. Usljed navedene ujednačenosti ostvaruje se zadovoljavajuća pokrivenost tretirane površine, jer će zrak omogućiti „otvaranje krošnje“. S obzirom na navedenu problematiku te uslijed tehničke izvedbe raspršivača, radijalni ventilatori ostvaruju bolju vertikalnu raspodjelu brzine zraka u odnosu na aksijalne (Manktelow, D.W., 1998). Prema tome glavne karakteristike ventilatora su:

- protok zraka, m³/h
- brzina zraka, m/s
- vertikalna distribucija zraka.

Protok zraka pri radu raspršivača treba biti podešen prema uzgojnom obliku i gustoći lisne površine. Dakle, za nasade sa bujnijom krošnjom, brzina zraka treba biti podešena na veće vrijednosti i obrnuto. Teorijski protok zraka potreban za aplikaciju u pojedinom nasadu može se odrediti prema izrazu (*Hardi International*):

$$Q_z = \frac{1.000 \cdot v \cdot b_m \cdot h_n}{f} \quad (4.5.1.)$$

gdje je:

Q_z – protok zraka, m³/h

v – brzina rada raspršivača, km/h

b_m – širina mlaza, m

h_n – visina nasada, m

f – faktor folijacije (za bujnije nasade od 1,5 – 2,5, a za rijede od 2,5 – 3,5)

Također, izačunava se i specifični protok zraka (Panneton, B. i sur., 2005) koji stavlja u odnos protoka zraka i brzine rada raspršivača prema izrazu:

$$Q_s = \frac{Q_z}{1.000} \cdot v \quad (4.5.2)$$

gdje je:

Q_s – specifični protok zraka, m³/km

Q_z – protok zraka raspršivača, m³/h

v – brzina rada raspršivača, km/h

U istraživanju, brzina zraka na raspršivaču podešena je na optimalnu vrijednost za pojedini nasad jabuke te je bila konstantna za sve tretmane pokusa. Optimalna brzina zraka podešena je pomoću regulatora broja okretaja ventilatora i zakretanjem lopatica ventilatora. U istraživanju je podešena konstantna brzina zraka za sve tretmane, a raspodjela brzine zraka mjerena je na izlazu iz usmjerivača te na vanjskim rubovima krošnje. Brzina zraka mjerena je neposredno pored svake mlaznice, a na kulturama prema pojedinim visinama. Brzina zraka mjerena je pomoću ručnog anemometra *Silva Windwatch* tvrtke *E.J Motiwalla* (slika 3.).



Slika 3. Anemometar Silva Windwatch (izvor:

http://www.ejmotiwalla.com/codes/maxphotos/Geomatictools/Previews/windwatch_yellow.htm)

Rezultati određivanja protoka i brzine zraka uz vertikalnu raspodjelu biti će prikazani u rezultatima istraživanja.

4.4. Vodoosjetljivi papirići (VOP)

Ranije je navedeno da je metoda sa vodoosjetljivim papirićima najprihvatljivija poljska metoda za određivanje pokrivenosti tretirane površine i veličine kapljica. Metoda je postajala sve popularnija kako se razvijala računalna tehnologija, pa tako u današnje vrijeme služi za izračune sa visokom točnošću. Velika točnost odnosi se na visoke rezolucije fotoaparata ili skenera s kojim se VOP-i pretvaraju u oblik s kojeg je moguća računalna analiza fotografije te korištenje visoko razvijenih softvera za proučavanje navedene problematike.

VOP-i čine žute pravokutne trake dimenzija 75 x 25 mm, koje na površini imaju tanki film bromfenola koji u dodiru sa vodom poplavi. Dakle, kapljica koja padne na VOP ostavi otisak koji može poslužiti za određivanje stupnja pokrivenosti tretirane površine i veličine kapljica korištenjem korekcijskog faktora. U istraživanju su korišteni VOP-i švicarskog proizvođača *Syngente*. Na slici 4. prikazani su VOP-i na kojima su plavi otisci kapljica.



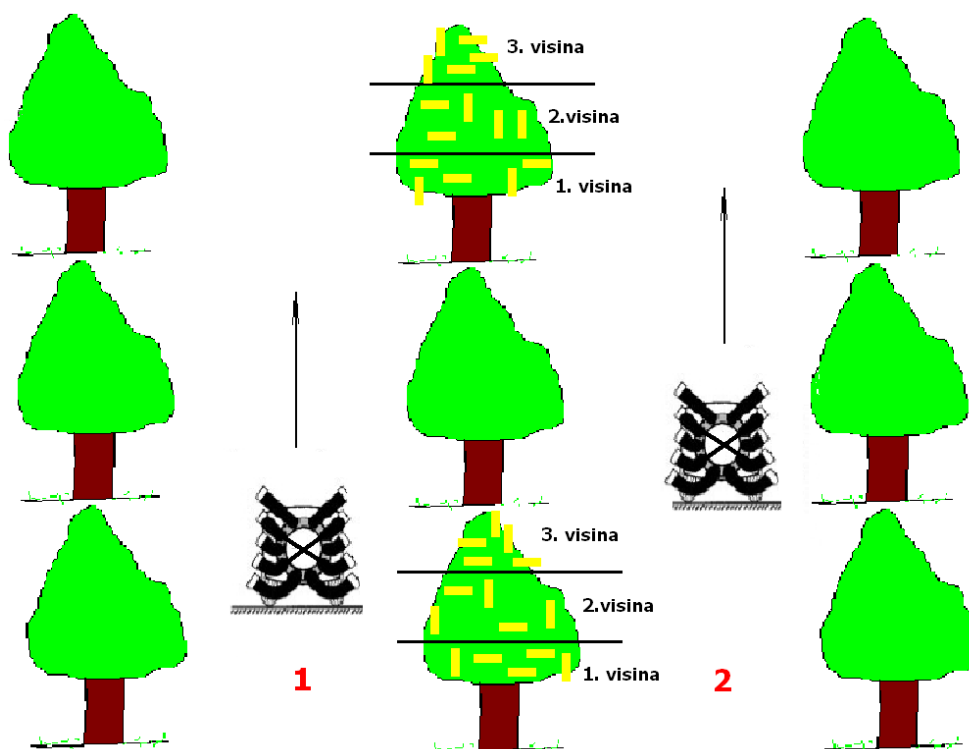
Slika 2. Vodoosjetljivi papirići (VOP) na jabuci (izvor: Tadić, V.)

Metodika postavljanja VOP-a na istraživanu kulturu temeljena je prema metodici autora De Moor, A. i sur., 2000. VOP-i su u istraživanju postavljeni na tri razine krošnje u nasadu jabuka. Donja razina je bila od cca. 0 – 62 cm, srednja od 62 – 124 cm, te vršna od 124 – 187 cm. Radi dobivanja podataka o uniformnoj pokrivenosti tretirane površine cijelog stabla na svaku razinu postavlja se pet VOP-a te se koristi četiri stabla u ponavljanju. Za svako stablo koristi se 15 VOP-a, a za tretman 60 VOP-a. Ukupna površina po tretmanu na kojoj je mjerena pokrivenost površine iznosi 1.125 cm² (30 x 37,5 cm). U istraživanju su korištena stabla koja se nalaze u istraživanom području, tj. u istraživanoj dužini reda od 100 m, a VOP-i se postavljaju na lice i naličje listova.

Kretanje raspršivača u istraživanju određeno je tako da se prvo kroz red 1 desnom stranom stroja tretira ispitivani red kulture, a kroz red 2 to se čini lijevom stranom stroja, tj. bez okretanja stroja na uvratini (slika 5.). Jedno stablo tretirano je sa obje strane stroja. Prije ulaska u ispitni red, raspršivač je postigao potrebnu brzinu rada prema planu pokusa (6 ili 8 km/h).

Navedeni način gibanja raspršivača u istraživanju određen je zbog usklađivanja sa mjerenjem zanošenja te smanjenja pogreške u održavanju radnog tlaka i brzine raspršivača (u konačnici i norme raspršivanja). Osim toga, smanjena je pogreška u mjerenju zanošenja zbog preklapanja prolazaka raspršivača.

VOP-i su postavljeni uvijek na ista stabla za svaki tretman jer su na njima određeni *LAI* i *LAD*.



Slika 3. Shema postavljanja VOP-a (izvor: Tadić, V.)

4.5. Računalna metoda analize slike

Nakon poljskih ispitivanja, vodoosjetljivi papirići su obilježeni, evidentirani i sakupljeni radi fotografiranja i obrađivanja pomoću računalne analize slike. Pokrivenost lisne površine (PLP) pomoću vodoosjetljivih papirića primjenom računalne analize slike (*engl. Digital Image Analysis, DIA*) određuje se beskontaktno (nema dodira uređaja i uzorka). Računalna analiza slike je brza, objektivna, nedestruktivna, lako ponovljiva i relativno jeftina metoda. Ova metoda za praćenje PLP može se koristiti kao alat za automatsko praćenje kvalitete rada raspršivača pri radu u trajnim nasadima. Prednost sustava za analizu slike, nad praćenjem PLP ljudskim okom je objektivnost i kontinuiranost u procjeni.

Sustav za analizu slike promjenu PLP uzorka registrira s tri senzora boje, a sastoji se od tri najvažnija elementa: rasvjete, fotoaparata/skenera (uređaja za "hvatanje" slike) i računala. Rasvjeta ili vrsta svjetlosti predstavlja vrlo važan element pri računalnoj analizi slike, obzirom da boja analiziranog uzorka ovisi o količini svjetlosti koja se reflektira s površine uzorka. Kako bi rezultat analize boje bio objektivn i precizan važno je osigurati kontrolirano osvjetljenje prikladno svojstvima uzorka kojega se fotografira. Osvjetljeni objekti prenose primljenu svjetlost apsorpcijom, refleksijom i propuštanjem, te se razlika boja pojedinih uzoraka prati određivanjem razlike u količini reflektirane svjetlosti s njegove površine.

Digitalni fotoaparat pohranjuje fotografije na elektronskom svjetlosnom senzoru (*engl. electric light sensor*) koji se sastoji od milijun malenih točkica (piksela). Značajke kamere koja utječe na kvalitet fotografije jesu rezolucija i kompresija snimljene fotografije: što je količina piksela veća time je veća i rezolucija te je bolja kvaliteta snimljene fotografije kao i informacija o uzorku koji je fotografiran. Preporučuje se rezolucija kamere 1,6 – 1,2 MP te mogućnost pohrane fotografije u TIFF (*engl. Tagged Image File Format*) formatu. Kako bi se osigurala iste postavke fotoaparata (tablica 2.), a time omogućilo kontinuirano praćenje fotografiranih uzoraka te usporedba dobivenih rezultata analize slike, potrebno je provesti kalibracijski postupak fotoaparata prije fotografiranja uzorka (Papadakis, S.E. i sur., 2000; Wee, A.G. i sur., 2006).

Za određivanje PLP, veličine, broja i raspodjele kapljica na VOP-ma korištena je metoda računalne analize slike. Mjerenje PLP računalnom analizom slike provodi se u nekoliko koraka.

Tablica 2. Postavke sustava za analizu slike

| Karakteristika | Vrijednost/postavka |
|-------------------------|--|
| Fotoaparat | <i>Canon PowerShot EOS 1000D</i> Digitalni, zrcalno – refleksi, <i>AF/AE</i> fotoaparat s ugrađenom bljeskalicom |
| Senzor slike | <i>CMOS</i> (veličina senzora 22.2 mm x 14.8 mm) - Rezolucija ≈ 10.10 MP |
| Objektiv | <i>Canon EF – S18 – 55 mm (f/3.5 – 5.6 IS)</i> |
| Način rada | Ručno |
| <i>ISO</i> osjetljivost | 200 |
| Otvor blende | <i>f/4.5</i> |
| Brzina okidača | <i>1/60 s</i> |
| Sustav boja | <i>sRGB</i> |
| Ravnoteža bjeline | Ručno – keramička bijela pločica (<i>CR-A43</i>) |
| Format slike | <i>JPEG+RAW (3888 x 2592 pix); ≈ 2.0 MP</i> |
| Programska podrška | <i>Canon Remote Capture Software: EOS</i> <i>Utility 2.3.0.2 (Canon Inc., USA)</i> |

Prvi korak je digitalizacija uzoraka (fotografiranje) u kontroliranim uvjetima komore za slikanje prema postavkama digitalne kamere i rasvjete kako je prikazano u tablici 2. Unutar komore za slikanje nalazi se digitalni fotoaparat (*Canon EOS – 1100D*) smješten na gornjem dijelu komore na udaljenosti 60 ± 10 cm od uzorka te rasvjeta. Osvijetljenost uzoraka od 850 ± 10 Lux – a osiguravala je gornja rasvjeta koja se sastoji od 8 led žarulja (*CE Lighting, DX – MR16 – 18LED, 2 W, 12 V, 15 – 60°* sa temperaturom 6.500 K) raspoređenih u krug i donje rasvjete (Štedna žarulja *Philips Genie, 8 W, 405 Lm, temperature 6500 K*) koja je smještena ispod podloge od pjeskarenog stakla na koju se stavlja uzorak (Papadakis, D.E. i sur., 2000; Wee, A.G. i sur., 2006). Neposredno prije digitalizacije uzoraka, osvjetljenost unutar komore za slikanje provjerena je pomoću svjetlomjera (*Digital light meter, YF-170, YU – Fong Eletronics, Taiwan*), a kalibracija ravnoteže bjeline napravljena pomoću standardne bijele keramičke pločice (*CR – A43, Konica Minolta, Japan*).

Nakon fotografiranja uzoraka, slike su pohranjene na računalo u TIFF formatu, na njih je primijenjena automatska računalna naredba (engl. *macro*) u programu *Adobe*

Photoshop s ciljem segmentacije uzorka i odjeljivanja podloge. Idući korak je obrada slike u programu *ImageJ* (Zhu, H. i sur., 2011; Prodanov, D. i Verstreken, K., 2012). Kako bi se provela računalna analiza slike uzorka VOP-a kreirana je makro naredba u programa *ImageJ* (eng. *macro*) za analizu slike.

Kao rezultat analize slike u programu *ImageJ* očitane su vrijednosti:

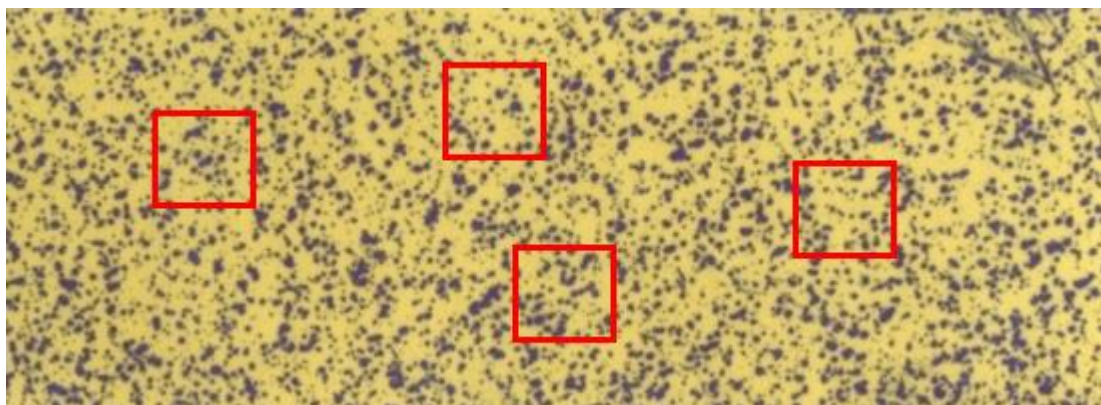
- *A* (eng. *Area*) – ukupna površina na VOP-ima, mm² ili pix²
- *TPA* (engl. *Total Particle Area*) – ukupna površina koju prekrivaju kapljice na VOP-u, mm² ili pix²
- *AF* (engl. *Area Fraction*) – udjel kapljica na VOP-u, %
- *PC* (engl. *Particle Count*) – broj kapljica na VOP-u,
- *PS_{AVG}* (engl. *Average Particle Size*) – prosječna veličina otiska kapljica - mm², pix² ili μm

Za određivanje pokrivenosti lisne površine (ili postotak udjela kapljica na VOP-u (*AF*)) korišteni su odgovarajući algoritmi u programu *ImageJ* za izračun ukupne površine VOP-a (*A*) i ukupne površine koje prekrivaju kapljice VOP-u prema izrazu:

$$AF = \frac{A}{TPA} \cdot 100(\%) \quad (4.8.1)$$

4.6. Utvrđivanje veličine i broja kapljica/cm² tretirane površine

U pregledu literature je navedeno da se veličina kapljica smanjuje s povećavanjem radnog tlaka te da raste njihov ukupni broj u mlazu. Također, smanjivanjem *ISO* broja mlaznice smanjuje se veličina kapljica. Istraživanje je usmjereno na utvrđivanje veličine i broja kapljica pomoću VOP-a (za određivanje navedenog korišteni su isti papirići kao i za određivanje pokrivenosti površine). Pomoću 60 papirića određena je veličina i broj kapljica za navedeni tretman, uz razliku što računalnom analizom slike nije obrađen cijeli VOP nego četiri specifične površine od 1 cm² po listiću (Fox, R.D., 2003), slika 6. Na površini od 4 cm² po listiću, uzete slučajnim odabirom određena je veličina kapljica i njihov broj. Prema tome, po stablu obrađena je površina od 60 cm², a za cijeli tretman površina od 240 cm².



Slika 4. 4 slučajno odabrane površine na VOP-u

Program koji se koristi za računalnu analizu slike (poglavlje 4.6.) lako određuje broj kapljica po ispitnoj površini i svrstava ih u 6 razreda veličine otiska kapljice na VOP-u (tablica 3.). Dakle, određen je broj kapljica/cm² (*PC – particle count*) i prosječna veličina otiska kapljica (*PS_{AVG} – Average Particle Size*).

Kapljica koja se rasprši kreće se u trodimenzionalnom prostoru do cilja zaštite, tada pada na list (u ovom slučaju VOP) i dobiva dvodimenzionalni karakter razlijevajući se po površini. Da bi se odredio njezin prvobitni promjer koriste se korekcijski faktori za dobivanje podatka o veličini kapljica. Korekcijski faktori su eksperimentalno određeni (Harz, M. i Knoche, 2001) i koristili su ih mnogi autori (Fox, R.D. i sur., 2003; Hoffman, W.C. i sur., 2005; Marcal, R.S. i sur., 2008). Dakle, korekcijski faktori korišteni su za preračunavanje otiska kapljica na VOP-u (*PS*) u rezultat stvarne veličine kapljica. U tablici 3. prikazana je podjela otisaka kapljica na VOP-u prema razredima veličine otiska (μm) i faktori preračunavanja za pojedine razrede.

Tablica 3. Razredi veličine otiska kapljice i faktori preračunavanja

| Razred otiska kapljice | $dk, \mu\text{m}$ | Faktor preračunavanja otiska kapljice u promjer kapljice, μm |
|------------------------|-------------------|---|
| 1. | 0 – 100 | 1,6 – 1,7 |
| 2. | 100 - 200. | 1,7 – 1,8 |
| 3. | 200 - 300 | 1,8 – 1,9 |
| 4. | 300 – 400 | 1,9 – 2,0 |
| 5. | 400 – 500 | 2,0 – 2,1 |
| 6. | 500 - 600 | 2,1 – 2,2 |

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U ovom istraživanju odrađeno je mjerenje brzine i protoka zraka raspršivača (poglavlje 5.1.) te utvrđivanje *LAI* - a i *LAD* – a za nasad jabuke (poglavlje 5.2.). Osim danih postavki mjerila se i brzina rada raspršivača (poglavlje 5.3.). Nakon obavljenih istraživanja računalnom analizom slike određena su glavna svojstva istraživanja – broj kapljica/cm², prosječni promjer kapljica, pokrivenost tretirane površine te zanošenje tekućine (poglavlje 5.4.).

5.1. Rezultati mjerenja brzine i protoka zraka

S obzirom na različite uzgojne oblike nasada i tehničke izvedbe raspršivača koriste se različite brzine i protoci zraka. Za nasad jabuka koristi se veći protok zraka nego za vinograd zbog različitosti uzgojnog oblika i lisne mase. Radijalni raspršivač u nasadu jabuke ostvaruje protok od 10.265,16 m³/h.

Hardi Zatur ostvaruje veće protoke zraka uz manje brzine, dok *Hardi Arrow* ostvaruje veće brzine zraka uz manje protoke. Najveća prosječna brzina zraka u nasadu jabuke kod raspršivača *Hardi Zatur*: desna strana stroja 15,58 m/s, te lijeva strana stroja 19,38 m/s. Kod raspršivača *Hardi Arrow* desna strana stroja postiže brzinu od 26,00 m/s, a lijeva strana 24,45 m/s.

Što se tiče smanjenja brzine zraka na rubu krošnje utvrđeno je da raspršivač *Hardi Arrow* ostvaruje veće smanjenje brzine zraka, primjerice:

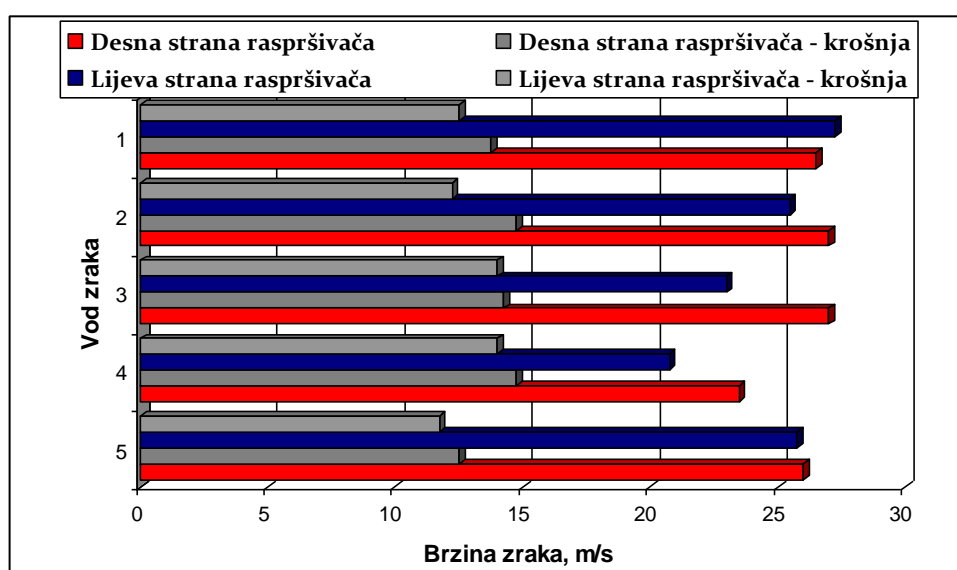
- *Hardi Zatur* u nasadu jabuke sa desnom stranom stroja ostvaruje smanjenje od 44,57%, a sa lijevom stranom stroja 37,61%,

- *Hardi Arrow* u nasadu jabuke sa desnom stranom stroja ostvaruje smanjenje od 45,97%, a sa lijevom stranom stroja 46,42%.

5.1.1. Rezultati mjerenja brzine i protoka zraka radijalnog raspršivača u nasadu jabuke

Eksploatacijom raspršivača *Hardi Arrow* u nasadu jabuke podešava se broj okretaja ventilatora na 2. poziciju. Uz navedeno podešenje desna strana stroja na usmjerivaču zraka ostvaruje prosječnu brzinu zraka od 26,00 m/s, a lijeva strana stroja 24,45 m/s. Prema tome desna strana stroja ostvaruje veću prosječnu brzinu zraka za 5,96% u odnosu na lijevu stranu stroja.

Prosječna brzina zraka na najnižem dijelu desne strane usmjerivača iznosi 26,00 m/s do 26,50 m/s na najvišem dijelu uz koeficijent varijacije od 5,60%. Na najnižem dijelu lijeve strane stroja brzina zraka iznosi 25,75 m/s do 27,25 m/s na najvišem dijelu uz koeficijent varijacije od 10,51%. Slično kao i kod manjih brzina zraka (vinograd), s povećavanjem visine usmjerivača ne dolazi do smanjenja brzine zraka, nego se ostvaruje ravnomjerna vertikalna raspodjela brzine zraka te je nizak koeficijent varijacije. Gibanjem struje zraka prema krošnji dolazi do smanjenja prosječne brzine zraka stoga na desnoj strani stroja iznosi 14,00 m/s (smanjenje brzine zraka za 45,97%), a na lijevoj strani 12,90 m/s (smanjene brzine zraka za 46,42%), grafikon 1.



Grafikon 1. Vertikalna distribucija brzine zraka raspršivača *Hardi Arrow* u nasadu jabuke

Za obavljanje svih tretmana u nasadu jabuke sa raspršivačem *Hardi Arrow* koristi se ukupni protok zraka od 10.265,16 m³/h, dok teorijski protok zraka za brzinu rada od 6 km/h iznosi 12,116,00 m³/h, a za brzinu rada od 8 km/h iznosi 16.154,67 m³/h. Specifični protok zraka iznosi 61,59 m³/km za radnu brzinu od 6 km/h i 82,12 m³/km za radnu brzinu od 8 km/h. Rezultati ostvarenih brzina i protoka zraka prikazani su u tablici 4.

Tablica 4. Prosječne vrijednosti mjerenja brzine i protoka zraka radijalnog raspršivača u nasadu jabuke

| <i>Hardi Arrow</i> | | | | | | |
|--------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------------|
| | Desna strana stroja – brzina zraka | | | Lijeva strana stroja – brzina zraka | | |
| Mjerenje* | Na usmjerivaču, m/s | Na rubu krošnje, m/s | Smanjenje brzine zraka, % | Na usmjerivaču, m/s | Na rubu krošnje, m/s | Smanjenje brzine zraka, % |
| 1. vod | 26,50 | 13,75 | 48,11 | 27,25 | 12,50 | 54,13 |
| 2. vod | 27,00 | 14,75 | 45,37 | 25,50 | 12,25 | 51,96 |
| 3. vod | 27,00 | 14,25 | 47,22 | 23,00 | 14,00 | 39,13 |
| 4. vod | 23,50 | 14,75 | 37,23 | 20,75 | 14,00 | 32,53 |
| 5. vod | 26,00 | 12,50 | 51,92 | 25,75 | 11,75 | 54,37 |
| \bar{X} | 26,00 | 14,00 | 45,97 | 24,45 | 12,90 | 46,42 |
| σ | 1,46 | 0,94 | 5,44 | 2,57 | 1,04 | 9,99 |
| <i>K.V.</i> , % | 5,61 | 6,68 | 11,83 | 10,51 | 8,06 | 21,52 |

Tablica 5. Protok zraka pri izvođenju istraživanja

| Protok zraka pri izvođenju istraživanja | | |
|---|------------------|-----------|
| | 6 km/h | 8 km/h |
| Stvarno korišteni protok zraka, m ³ /h | 10.265,16 | |
| Teorijski protok zraka, m ³ /h (f=1,5) | 12.116,00 | 16.154,67 |
| Specifični protok zraka, m ³ /km | 61,59 | 82,12 |

5.2. Rezultati utvrđivanja *LAI* – a i *LAD* – a

Ranije je navedeno da indeks lisne površine (*LAI*) i indeks lisne gustoće (*LAD*) daju podatak o karakteristikama vegetativne površine trajnog nasada. Indeks lisne površine predstavlja omjer ukupne lisne površine nasada i uzgojne površine nad kojom se biljka nalazi, a indeks lisne gustoće govori o ukupnoj lisnoj površini u određenom obujmu krošnje. Tijekom razvoja nasada, *LAI* i *LAD* rastu do ostvarenja punog uzgojnog oblika (4 – 5 godina razvoja) koji malo varira u kasnijim godinama, a određen je razmacima biljaka unutar reda i između redova, te načinom rezanja i održavanja trajnog nasada. Tijekom jednog vegetacijskog razdoblja navedeni indeksi rastu do pojave cvatnje i oplodnje, koji su zatim manje ili više konstantni do kraja vegetacije. Istraživanja u nasadu jabuke se obavljaju krajem svibnja i početkom lipnja.

5.2.1. Rezultati utvrđivanja *LAI* – a i *LAD* – a u nasadu jabuke

U nasadu jabuke međuredni razmak je 3,50 m te je razmak unutar reda 1,00 m. Prosječna visina jabuka je 2,33 m, a prosječna visina krošnje je 1,87 m. Prosječna širina krošnje je 1,13 m te je prosječna širina krošnje unutar reda 1,29 m. Iz navedenih karakteristika nasada jabuke dobiva se prosječna uzgojna površina od 1,47 m². Uzgojne karakteristike nasada jabuke prikazane su u tablici 6.

Tablica 6. Uzgojne karakteristike nasada jabuke

| Broj stabla | Visina stabla, cm | Visina krošnje, m | Širina krošnje, m | Širina krošnje u redu, m | Uzgojna površina, m ² | <i>LAI</i> , m ² /m ² | <i>LAD</i> m ² /m ³ |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------------|---|---|
| 1. | 2,50 | 2,13 | 1,16 | 1,27 | 1,47 | 1,60 | 4,68 |
| 2. | 2,30 | 1,79 | 1,30 | 1,38 | 1,79 | 1,81 | 4,68 |
| 3. | 2,30 | 1,92 | 1,20 | 1,26 | 1,51 | 1,53 | 4,75 |
| 4. | 2,30 | 1,81 | 1,14 | 1,22 | 1,39 | 1,77 | 4,09 |
| 5. | 2,41 | 2,05 | 1,10 | 1,21 | 1,33 | 1,70 | 3,59 |
| 6. | 2,24 | 1,78 | 1,10 | 1,48 | 1,63 | 1,72 | 4,85 |
| 7. | 2,35 | 2,01 | 1,10 | 1,44 | 1,58 | 1,71 | 4,51 |
| 8. | 2,60 | 2,04 | 1,21 | 1,26 | 1,52 | 1,80 | 4,85 |
| 9. | 2,41 | 1,97 | 1,15 | 1,10 | 1,27 | 1,79 | 3,87 |
| 10. | 2,21 | 1,75 | 1,21 | 1,50 | 1,82 | 1,43 | 5,37 |
| 11. | 2,41 | 1,75 | 0,98 | 1,20 | 1,18 | 2,19 | 4,60 |
| 12. | 1,93 | 1,46 | 0,99 | 1,16 | 1,15 | 2,02 | 5,20 |
| \bar{x} | 2,33 | 1,87 | 1,13 | 1,29 | 1,47 | 1,76 | 4,59 |
| σ | 0,17 | 0,18 | 0,09 | 0,13 | 0,22 | 0,20 | 0,52 |
| <i>K.V.</i> , % | 7,17 | 9,88 | 8,06 | 10,06 | 14,85 | 11,62 | 11,25 |

5.3. Rezultati mjerenja vremena potrebnih za obavljanje pojedinih tretmana

Mjerenje vremena za obavljanje tretmana tijekom istraživanja obavlja se zapornim satom, a mjeri se između zastavica unutar reda nasada koje se postavljaju na udaljenosti od 100 m. Prema planu istraživanja tijekom mjerenja se koriste dvije brzine: 6 km/h te 8 km/h. Pri brzini od 6 km/h, traktor mora preći put od 100 m za 60 sekundi, a pri brzini od 8 km/h traktor mora preći put od 100 m za 45 sekundi. Za obavljanje cjelokupnog tretmana raspršivač tretira ispitni red u dva prohoda uz mjerenje vremena potrebnog za obavljanje svakog od njih. Kontrolne ploče oba traktora u istraživanju vrlo točno prikazuju brzinu rada traktora pa vremenski otkloni za obavljanje tretmana ostvaruju minimalnu vrijednost. U tablici 7. su prikazani rezultati mjerenja vremena za obavljanje pojedinog tretmana u oba prohoda, te njihov prosječni otklon od zadanog vremena.

5.3.1. Rezultati ostvarenih vremena tijekom rada radijalnog raspršivača

U tablici 7. je vidljivo da prosječni vremenski otklon za obavljanje tretmana pri radu radijalnog raspršivača pri brzini 6 km/h u vinogradu iznosi 0,64%, a sa brzinom rada od 8 km/h vremenski otklon iznosi 0,44%. Prosječni vremenski otklon za obavljanje tretmana sa 6 km/h u nasadu jabuke iznosi 0,05%, a pri brzini rada od 8 km/h iznosi 0,24%.

Tablica 7. Rezultati ostvarenih mjerenja pri obavljanju tretmana radijalnim raspršivačem

| Nasad jabuke - <i>Hardi Arrow</i> | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------|----------------------|
| Tretman i brzina rada | I. prohod, s | II. prohod, s | Prosječni otklon*, % |
| 1, 6 km/h | 62,41 | 59,96 | 1,96 |
| 2, 6 km/h | 59,99 | 60,95 | 0,79 |
| 3, 6 km/h | 61,56 | 59,9 | 1,35 |
| 4, 8 km/h | 45,78 | 46,56 | 2,53 |
| 5, 8 km/h | 45,04 | 46,44 | 1,62 |
| 6, 8 km/h | 45,14 | 45,77 | 1,00 |
| 7, 6 km/h | 60,83 | 58,88 | 1,63 |
| 8, 6 km/h | 60,78 | 59,23 | 1,29 |
| 9, 6 km/h | 60,72 | 60,83 | 1,28 |
| 10, 8 km/h | 45,45 | 45,91 | 1,49 |
| 11, 8 km/h | 45,69 | 45,55 | 1,36 |
| 12, 8 km/h | 45,77 | 45,83 | 1,75 |
| 13, 6 km/h | 59,74 | 59,85 | 0,34 |
| 14, 6 km/h | 59,96 | 59,48 | 0,47 |
| 15, 6 km/h | 60,66 | 60,09 | 0,62 |
| 16, 8 km/h | 45,85 | 45,49 | 1,47 |
| 17, 8 km/h | 45,02 | 45,41 | 0,48 |
| 18, 8 km/h | 45,68 | 45,77 | 1,59 |
| | Vrijeme obavljanja tretmana, s | | |
| | 6 km/h | 8 km/h | |
| \bar{X} | 60,32 | 45,68 | |
| σ | 0,86 | 0,41 | |
| K.V., % | 1,42 | 0,89 | |
| Prosječni otklon, % | 0,54 | 1,48 | |

*Otklon od potrebnog vremena za obavljanje tretmana za oba prohoda raspršivača

5.4. Rezultati mjerenja glavnih svojstava istraživanja

Nakon obavljenih poljskih istraživanja prikupljeni su vodoosjetljivi papirići, te su evidentirani i pripremljeni za računalnu analizu slike. Prema metodi istraživanja sa svakog papirića određena je ukupna površina papirića - *A* (eng. *Area*), te ukupna površina koju

prekrivaju kapljice na papiriću – *TPA* (engl. *Total Particle Area*). Iz navedenih parametara softver *ImageJ* lako izračunava udjel kapljica na papiriću – *AF* (*Area Fraction*), tj. pokrivenost papirića u %. Na svako stablo postavlja se 15 papirića, a koristi se 4 stabla u ponavljanju za izvođenje jednog tretmana.

Pri određivanju broja i veličine kapljica korišteni su isti vodoosjetljivi papirići kao i kod određivanja pokrivenosti tretirane površine, samo što je u ovom slučaju softver *ImageJ* odredio broj kapljica na četiri specifične površine papirića - *PC* (engl. *Particle Count*). Uz broj kapljica određen je i njihov prosječni promjer - *PS_{AVG}* (engl. *Average Particle Size*). Dobivena vrijednost *PS_{AVG}* predstavlja prosječni prosječni promjer otiska kapljice na papiriću te se pomoću korekcijskih faktora određuje stvarni promjer kapljica.

Za utvrđivanje zanošenja tekućine, također se koristi softver *ImageJ* koji određuje ukupnu površinu papirića *A* i ukupnu površinu koju prekrivaju kapljice *TPA*. Iz navedenih podataka izračunava se *AF*, te se zanošenje izražava po kategorijama intenziteta. Zanošenje se mjeri u dva bočna netretirana reda (između dva stabla gdje je pojava zanošenja najveća) s 4 ponavljanja za svaki tretman.

5.4.1. Rezultati mjerenja glavnih svojstva istraživanja s radijalnim raspršivačem (*Hardi Arrow*) u nasadu jabuke

5.4.1.1. Rezultati mjerenja pokrivenosti tretirane površine

Rezultati istraživanja pokrivenosti tretirane površine u nasadu jabuke s radijalnim raspršivačem (*Hardi Arrow*) su prikazani u tablici 8. S jednom se zvjezdicom (*) označava prosječna pokrivenost tretirane površine po tretmanu, a s dvije zvjezdice (**) označava prosječna pokrivenost tretirane površine po visinama i podijeljena je na tri stupca (D – donja razina, S – srednja razina, V – vršna razina).

S obzirom na tablicu 8. uočava se da najveću pokrivenost tretirane površine od 64,87% ostvaruje tretman sa zelenom mlaznicom, brzinom rada od 8 km/h i normom raspršivanja od 400 l/ha. Najmanju pokrivenost tretirane površine od 28,27% ostvaruje tretman sa žutom mlaznicom, brzinom rada od 6 km/h i normom raspršivanja od 400 l/ha. Eksploatacijom radijalnog raspršivača (*Hardi Arrow*) u nasadu jabuke prosječna pokrivenost tretirane površine iznosi 41,12%, s prosječnim odklonom između ponavljanja od 6,83%.

Tablica 8. Rezultati ostvarene prosječne pokrivenosti tretirane površine po pojedinom tretmanu – *Hardi Arrow* u nasadu jabuke

| Tretman | | | Prosječna pokrivenost*, % | | | σ | K.V., % |
|--------------------|--------------|--------------|---------------------------|-------|-------|----------|---------|
| Mlaznice | v_r , km/h | N_r , l/ha | Po visinama** | | | | |
| | | | D | S | V | | |
| TR 8003C | 6 | 250 | 32,31 | | | 3,45 | 10,67 |
| | | | 32,83 | 32,08 | 32,01 | 32,83 | 32,08 |
| TR 8003C | 6 | 325 | 33,53 | | | 1,32 | 3,95 |
| | | | 33,47 | 33,92 | 33,22 | 33,47 | 33,92 |
| TR 8003C | 6 | 400 | 41,32 | | | 3,37 | 8,16 |
| | | | 41,89 | 41,83 | 40,24 | 41,89 | 41,83 |
| TR 8003C | 8 | 250 | 31,68 | | | 2,32 | 7,32 |
| | | | 30,98 | 34,84 | 29,21 | 30,98 | 34,84 |
| TR 8003C | 8 | 325 | 36,25 | | | 4,46 | 12,31 |
| | | | 35,24 | 37,02 | 36,49 | 35,24 | 37,02 |
| TR 8003C | 8 | 400 | 49,39 | | | 5,19 | 10,51 |
| | | | 50,14 | 48,76 | 49,27 | 50,14 | 48,76 |
| TR 8002C | 6 | 250 | 28,87 | | | 1,98 | 6,87 |
| | | | 26,13 | 28,40 | 32,08 | 26,13 | 28,40 |
| TR 8002C | 6 | 325 | 37,47 | | | 1,64 | 4,38 |
| | | | 35,69 | 39,27 | 37,44 | 35,69 | 39,27 |
| TR 8002C | 6 | 400 | 44,53 | | | 5,25 | 11,78 |
| | | | 42,32 | 42,84 | 48,43 | 42,32 | 42,84 |
| TR 8002C | 8 | 250 | 46,11 | | | 4,18 | 9,07 |
| | | | 44,64 | 49,45 | 46,59 | 44,64 | 49,45 |
| TR 8002C | 8 | 325 | 43,59 | | | 1,54 | 3,54 |
| | | | 42,38 | 43,07 | 45,23 | 42,38 | 43,07 |
| TR 8002C | 8 | 400 | 62,16 | | | 3,66 | 5,89 |
| | | | 59,15 | 62,27 | 65,06 | 59,15 | 62,27 |
| TR 80015C | 6 | 250 | 31,51 | | | 2,10 | 6,66 |
| | | | 28,37 | 31,06 | 35,09 | 28,37 | 31,06 |
| TR 80015C | 6 | 325 | 47,12 | | | 4,83 | 10,25 |
| | | | 42,55 | 46,96 | 51,87 | 42,55 | 46,96 |
| TR 80015C | 6 | 400 | 54,16 | | | 1,25 | 2,30 |
| | | | 49,37 | 54,54 | 58,58 | 49,37 | 54,54 |
| TR 80015C | 8 | 250 | 51,59 | | | 1,22 | 2,42 |
| | | | 48,33 | 50,96 | 53,36 | 48,33 | 50,96 |
| TR 80015C | 8 | 325 | 59,55 | | | 2,19 | 3,68 |
| | | | 57,24 | 59,22 | 62,20 | 57,24 | 59,22 |
| TR 80015C | 8 | 400 | 64,87 | | | 2,04 | 3,14 |
| | | | 61,41 | 64,45 | 68,76 | 61,41 | 64,45 |
| \bar{X} tretmana | | | 38,90 | | | 3,66 | 44,12 |
| \bar{X} visina | | | 31,39 | 38,91 | 42,34 | 44,30 | 45,71 |

Tablica 9. Analiza varijance za ispitivano svojstvo pokrivenosti tretirane površine

| A | B ₁ | | | B ₂ | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₁ | C ₂ | C ₃ |
| A ₁ | 32,30 | 33,53 | 41,32 | 31,67 | 36,24 | 49,39 |
| A ₂ | 28,86 | 37,46 | 44,53 | 46,10 | 43,59 | 62,16 |
| A ₃ | 31,50 | 47,12 | 54,16 | 50,69 | 59,55 | 64,87 |
| \bar{X}_{BC} | 30,89 | 39,37 | 46,67 | 42,82 | 46,46 | 58,80 |

| | Interakcija AB | | | Interakcija AC | | | \bar{X}_A |
|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| | B ₁ | B ₂ | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | |
| A ₁ | 35,71 | 39,10 | | 31,99 | 34,89 | 45,35 | 37,41 |
| A ₂ | 36,95 | 50,61 | | 37,48 | 40,52 | 53,34 | 43,78 |
| A ₃ | 44,26 | 58,37 | | 41,09 | 53,33 | 59,51 | 51,31 |
| \bar{X}_B | 38,97 | 49,36 | \bar{X}_C | 36,85 | 42,91 | 52,73 | |

| ANOVA | A | B | C | AB | AC | BC | ABC |
|---------------------|----------|----------|----------|---------|--------|--------|--------|
| LSD _{0,05} | 1,44 | 1,62 | 1,72 | 3,12 | 3,33 | 2,57 | 5,67 |
| LSD _{0,01} | 1,95 | 2,13 | 2,33 | 4,38 | 4,85 | 3,60 | 9,41 |
| F - test | 113,47** | 189,49** | 150,42** | 21,54** | 6,03** | 4,78* | 5,62** |
| p | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0004 | 0,0122 | 0,0007 |

A = tip mlaznice; B = brzina rada, km/h; C = norma raspršivanja, l/ha

Analizom varijance značajnu razliku pokazuje interakcija (AB) tipa mlaznice i brzine rada, a pokrivenost se kreće od 35,71 (plava mlaznica i brzina rada od 6 km/h) do 58,37% (zelena mlaznica i brzina rada od 8 km/h). Za navedene interakcije vrijedi minimalna statistička značajnost ($\alpha_{0,05}$) između interakcija od 3,12%. Statistički značajnu razliku pokazuje interakcija (BC) brzine rada i norme raspršivanja, a pokrivenost tretirane površine se kreće od 30,89 (brzina rada od 6 km/h i norma raspršivanja od 250 l/ha) do 58,80% (brzina rada od 8 km/h i norma raspršivanja od 400 l/ha). Za ove interakcije vrijedi minimalna značajnost između interakcija ($\alpha_{0,05}$) od 2,57%.

5.4.1.2. Rezultati mjerenja veličine i broja kapljica/cm²

Nakon istraživanja s ciljem utvrđivanja prosječnog promjera kapljica i broja kapljica/cm² u nasadu jabuke sa radijalnim raspršivačem (*Hardi Arrow*) ostvareni su rezultati prikazani u tablici 10.

Tablica 10. Rezultati mjerenja veličine i broja kapljica/cm² sa radijalnim raspršivačem (*Hardi Arrow*) u nasadu jabuke

| Tretman | p , bar | \bar{n}_k /cm ² | σ | K.V., % | \bar{d}_k , μm | σ | K.V., % |
|---------|--------------|------------------------------|----------|---------|-----------------------------|----------|---------|
| P6250 | 1,51 | 52,45 | 5,38 | 10,26 | 175,87 | 19,69 | 11,27 |
| P6325 | 2,56 | 60,28 | 5,26 | 8,73 | 179,53 | 21,80 | 12,18 |
| P6400 | 3,88 | 83,45 | 1,55 | 1,85 | 182,64 | 17,46 | 9,58 |
| P8250 | 2,69 | 65,88 | 6,22 | 9,44 | 179,38 | 5,03 | 2,82 |
| P8325 | 4,56 | 72,12 | 8,85 | 12,27 | 160,06 | 8,23 | 5,16 |
| P8400 | 6,90 | 81,80 | 3,52 | 4,30 | 154,91 | 12,40 | 8,08 |
| Ž6250 | 3,25 | 76,50 | 5,85 | 7,65 | 189,43 | 18,78 | 9,94 |
| Ž6325 | 5,50 | 82,80 | 9,96 | 12,03 | 172,27 | 13,65 | 7,92 |
| Ž6400 | 8,33 | 104,47 | 3,15 | 3,01 | 157,85 | 6,98 | 4,44 |
| Ž8250 | 5,78 | 83,95 | 8,30 | 9,88 | 180,33 | 17,15 | 9,52 |
| Ž8325 | 9,78 | 91,42 | 6,44 | 7,04 | 155,48 | 19,02 | 12,31 |
| Ž8400 | 14,81 | 116,75 | 4,08 | 3,49 | 138,71 | 14,59 | 10,55 |
| Z6250 | 5,60 | 81,58 | 5,76 | 7,06 | 188,69 | 16,39 | 8,72 |
| Z6325 | 9,47 | 104,70 | 7,14 | 6,82 | 155,66 | 10,14 | 6,56 |
| Z6400 | 14,35 | 114,83 | 11,08 | 9,65 | 140,04 | 10,94 | 7,82 |
| Z8250 | 9,96 | 104,83 | 14,58 | 13,91 | 144,25 | 10,34 | 7,17 |
| Z8325 | 16,84 | 117,21 | 5,73 | 4,89 | 143,15 | 17,08 | 11,98 |
| Z8400 | 25,52 | 157,91 | 6,24 | 3,95 | 123,36 | 13,62 | 11,10 |

p – radni tlak; \bar{n}_k - prosječni broj kapljica; \bar{d}_k - prosječni promjer kapljica

Najmanji prosječni broj kapljica/cm² (52,45) utvrđen je kod tretmana sa plavom mlaznicom pri brzini rada od 6 km/h, normi raspršivanja od 250 l/ha te radnim tlakom od 1,51 bar, dok je najveći prosječni broj kapljica/cm² (157,91) utvrđen kod tretmana sa zelenom mlaznicom pri brzini rada od 8 km/h, normom raspršivanja od 400 l/ha te radnim tlakom od 25,52 bar. Najmanji prosječni promjer kapljica (123,36 μm) utvrđen je kod tretmana sa zelenom mlaznicom pri brzini rada od 8 km/h, normom raspršivanja od 400 l/ha te radnim tlakom od 25,52 bar, dok je najveći prosječni promjer kapljica (189,43 μm) utvrđen kod tretmana sa žutom mlaznicom pri brzini rada od 6 km/h, normom raspršivanja od 250 l/ha te radnim tlakom od 3,25 bar.

Tablica 11. Analiza varijance za ispitivano svojstvo broja kapljica/cm²

| A | B ₁ | | | B ₂ | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₁ | C ₂ | C ₃ |
| A ₁ | 52,45 | 60,28 | 83,45 | 65,88 | 72,12 | 81,80 |
| A ₂ | 76,50 | 82,80 | 104,46 | 83,95 | 91,41 | 116,75 |
| A ₃ | 81,57 | 104,70 | 114,83 | 104,83 | 117,20 | 157,91 |
| \bar{x} BC | 70,17 | 82,59 | 100,91 | 84,88 | 93,58 | 118,82 |

| | Interakcija AB | | Interakcija AC | | | \bar{x} A |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| | B ₁ | B ₂ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | |
| A ₁ | 65,39 | 73,26 | 59,16 | 66,20 | 82,62 | 69,33 |
| A ₂ | 87,92 | 97,37 | 80,22 | 87,11 | 110,60 | 92,64 |
| A ₃ | 100,36 | 126,65 | 93,20 | 110,95 | 136,37 | 113,50 |
| \bar{x} B | 84,56 | 99,09 | \bar{x} C | 76,43 | 109,86 | |

| ANOVA | A | B | C | AB | AC | BC | ABC |
|---------------------|----------|---------|----------|---------|--------|-----------|--------|
| LSD _{0,05} | 7,75 | 2,33 | 3,72 | 4,49 | 7,20 | 5,55 | 12,26 |
| LSD _{0,01} | 10,51 | 3,07 | 5,04 | 6,30 | 10,48 | 7,79 | 20,34 |
| F - test | 222,12** | 72,05** | 123,65** | 11,83** | 4,07** | 1,36 n.s. | 5,30** |
| p | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0058 | 0,2647 | 0,0011 |

A = tip mlaznice; B = brzina rada, km/h; C = norma raspršivanja, l/ha

Analizom varijance značajnu razliku pokazuje interakcija tipa mlaznice i brzine rada (AB), a broj kapljica/cm² se kreće od 65,39 (plava mlaznica i brzina rada od 6 km/h) do 126,65 kapljica (zelena mlaznica i brzina rada od 8 km/h). Za navedene interakcije vrijedi minimalna značajnost ($\alpha_{0,05}$) između interakcija od 4,49 kapljica. Interakcijom (AC) tipa mlaznice i norme raspršivanja broj kapljica/cm² se kreće od 59,16 (plava mlaznica i norma raspršivanja od 250 l/ha) do 136,37 kapljica (zelena mlaznica i norma raspršivanja od 400 l/ha) uz minimalno potrebnu značajnost ($\alpha_{0,05}$) između interakcija u iznosu od 7,20 kapljica. Kombinacijama sva tri tehnička čimbenika raspršivanja (ABC) ostvaruje se značajna razlika pa vrijednosti iznose od 52,45 (plava mlaznica, brzina rada od 6 km/h i norma raspršivanja od 300 l/ha) do 157,91 kapljica/cm² (zelena mlaznica, brzina rada od 8 km/h i norma raspršivanja od 350 l/ha) uz minimalno potrebnu značajnost ($\alpha_{0,05}$) između interakcija od 12,26 kapljica/cm².

S obzirom na faktorijalnu analizu varijance za ispitivano svojstvo prosječnog promjera kapljica, a na osnovi statističkih parametara i značajnosti, vidljivo je da su svi ispitivani čimbenici visoko signifikantni ($P < 0,01$), osim interakcije (AB) tip mlaznice x brzine rada ($F = 0,94$; $P > 0,05$), interakcije (AC) tip mlaznice x norma raspršivanja ($F =$

2,45; $P > 0,05$) i interakcije brzina rada x norma raspršivanja ($F = 0,16$; $P > 0,05$), tablica 12.

Tablica 12. Analiza varijance za ispitivano svojstvo prosječnog promjera kapljica

| A | B ₁ | | | B ₂ | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₁ | C ₂ | C ₃ |
| A ₁ | 174,75 | 179,00 | 182,25 | 179,75 | 159,50 | 156,50 |
| A ₂ | 189,00 | 172,25 | 157,00 | 179,50 | 154,50 | 138,25 |
| A ₃ | 188,00 | 154,75 | 139,75 | 144,25 | 142,50 | 122,75 |
| \bar{X}_{BC} | 183,91 | 168,66 | 159,66 | 167,83 | 152,16 | 139,16 |

| | Interakcija AB | | Interakcija AC | | | \bar{X}_A |
|----------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|-------------|
| | B ₁ | B ₂ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | |
| A ₁ | 178,66 | 165,25 | 177,25 | 169,25 | 169,37 | 171,95 |
| A ₂ | 172,75 | 157,41 | 184,25 | 163,37 | 147,62 | 165,08 |
| A ₃ | 160,83 | 136,50 | 166,12 | 148,62 | 131,25 | 148,66 |
| \bar{X}_B | 170,75 | 153,05 | \bar{X}_C 175,87 | 149,41 | | |

| ANOVA | A | B | C | AB | AC | BC | ABC |
|---------------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|--------|
| LSD _{0,05} | 4,39 | 4,85 | 6,46 | 9,35 | 12,51 | 9,65 | 21,30 |
| LSD _{0,01} | 5,94 | 6,39 | 8,76 | 13,11 | 18,20 | 13,53 | 35,32 |
| F - test | 15,87** | 26,02** | 19,58** | 0,94 n.s. | 2,45 n.s. | 0,16 n.s. | 2,58* |
| p | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,3963 | 0,0570 | 0,8484 | 0,0468 |

Analizom varijance značajnu razliku pokazuje interakcija sva tri tehnička čimbenika raspršivanja, a vrijednosti iznose od 189,00 (žuta mlaznica, brzina rada od 6 km/h i norma raspršivanja od 250 l/ha) do 122,75 μm (zelena mlaznica, brzina rada od 8 km/h i norma raspršivanja od 400 l/ha) uz minimalno potrebnu značajnost između interakcija od 21,30 μm .

5.4.1.3. Rezultati mjerenja zanošenja tekućine (drift)

Uslijed istraživanja zanošenja tekućine (*drift*) u nasadu jabuke s radijalnim raspršivačem (*Hardi Arrow*) ostvareni su rezultati prikazani u tablici 10.

Tablica 13. Rezultati mjerenja zanošenja tekućine u nasadu jabuke s radijalnim raspršivačem (*Hardi Arrow*)

| Tretman | \bar{A}_p , % | \bar{v}_v , m/s | $\bar{\uparrow}$, ° | Zanošenje tekućine, % | | | | |
|-----------|--------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|-------|-------------|----------|------------|
| | | | | LS | DS | \bar{X} * | σ | K.V., % |
| P6250 | 32,31 | 1,44 | 193,36 | 10,38 | 11,50 | 9,87 | 0,43 | 3,90 |
| P6325 | 33,53 | | | 4,13 | 18,00 | 11,06 | 0,88 | 7,91 |
| P6400 | 41,32 | | | 18,69 | 21,00 | 19,84 | 0,51 | 2,59 |
| P8250 | 31,68 | 1,14 | 192,21 | 11,75 | 19,31 | 15,53 | 0,94 | 6,04 |
| P8325 | 36,25 | | | 11,78 | 19,31 | 15,54 | 0,34 | 2,21 |
| P8400 | 49,39 | | | 11,83 | 38,48 | 25,16 | 0,51 | 2,05 |
| Ž6250 | 28,87 | 0,87 | 190,96 | 12,69 | 20,56 | 16,62 | 0,48 | 2,87 |
| Ž6325 | 37,47 | | | 15,72 | 19,88 | 17,80 | 0,36 | 2,02 |
| Ž6400 | 44,53 | | | 23,49 | 24,88 | 14,19 | 0,37 | 1,55 |
| Ž8250 | 46,11 | 1,43 | 180,43 | 9,38 | 10,36 | 10,94 | 0,64 | 6,47 |
| Ž8325 | 43,59 | | | 17,79 | 17,64 | 17,72 | 0,44 | 2,46 |
| Ž8400 | 62,16 | | | 31,26 | 29,25 | 30,26 | 0,28 | 0,93 |
| Z6250 | 31,51 | 1,66 | 196,55 | 15,28 | 17,54 | 16,41 | 0,45 | 2,73 |
| Z6325 | 47,12 | | | 12,17 | 21,28 | 16,72 | 1,80 | 10,76 |
| Z6400 | 54,16 | | | 10,58 | 30,51 | 20,55 | 2,06 | 10,02 |
| Z8250 | 50,69 | 1,12 | 193,68 | 11,72 | 27,94 | 19,83 | 0,40 | 2,04 |
| Z8325 | 59,55+ | | | 17,63 | 24,57 | 21,10+ | 0,58 | 2,75 |
| Z8400 | 64,87 | | | 31,00 | 41,57 | 36,28 | 0,53 | 1,45 |
| \bar{X} | | | | 24,52 | 15,37 | 19,94 | 15,40 | 22,98 |

\bar{A}_p - prosječna pokrivenost površine; \bar{v}_v - prosječna brzina vjetra; $\bar{\uparrow}$ - prosječni smjer vjetra; LS – lijeva strana; DS – desna strana; * Prosjek četiri ponavljanja

Analizom podataka iz tablice 10. uočava se da najveće zanošenje tekućine od 36,28% ostvaruje tretman sa zelenom mlaznicom pri brzini rada od 8 km/h i normom raspršivanja od 400 l/ha. Najmanje zanošenje tekućine od 9,87% ostvaruje tretman sa plavom mlaznicom pri brzini rada od 6 km/h i normom raspršivanja od 250 l/ha. Eksploatacijom radijalnog raspršivača (*Hardi Arrow*) u nasadu jabuke prosječno zanošenje tekućine iznosi 18,63%, sa prosječnim otklonom između ponavljanja od 3,93%. Intenzitet zanošenja izražava se preko pokrivenosti vodoosjetljivih papirića, a u tablici 10. s plusom (+) se označava tretman koji predstavlja najbolji odnos pokrivenosti tretirane površine i zanošenja tekućine. Prema tablici 10. vidljivo je da su tijekom istraživanja ostvarene minimalne vrijednosti *drifta*.

Tablica 14. Analiza varijance za ispitivano svojstvo zanošenja tekućine

| A | B ₁ | | | B ₂ | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₁ | C ₂ | C ₃ |
| A ₁ | 9,87 | 11,06 | 19,84 | 15,53 | 15,54 | 25,15 |
| A ₂ | 16,62 | 17,80 | 24,18 | 10,93 | 17,71 | 30,25 |
| A ₃ | 16,40 | 16,72 | 20,54 | 19,83 | 21,09 | 36,28 |
| \bar{x}_{BC} | 14,65 | 15,19 | 21,52 | 15,07 | 18,11 | 30,56 |

| | Interakcija AB | | Interakcija AC | | | \bar{x}_A |
|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------|
| | B ₁ | B ₂ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | |
| A ₁ | 13,94 | 18,74 | 13,23 | 13,30 | 22,50 | 16,34 |
| A ₂ | 19,53 | 19,28 | 13,24 | 17,76 | 27,22 | 19,40 |
| A ₃ | 17,89 | 25,73 | 18,11 | 18,91 | 28,41 | 21,81 |
| \bar{x}_B | 17,12 | 21,25 | \bar{x}_C 14,86 | 16,65 | 26,04 | |

| ANOVA | A | B | C | AB | AC | BC | ABC |
|----------|---------|----------|-----------|----------|---------|----------|---------|
| LSD 0,05 | 0,69 | 0,28 | 0,48 | 0,54 | 0,93 | 0,72 | 1,59 |
| LSD 0,01 | 0,94 | 0,37 | 0,65 | 0,76 | 1,36 | 1,01 | 2,65 |
| F - test | 268,37* | 456,29** | 1287,17** | 149,42** | 23,50** | 175,48** | 43,58** |
| p | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |

A = tip mlaznice; B = brzina rada, km/h; C = norma raspršivanja, l/ha

Analizom varijance vrlo značajnu razliku pokazuju sve navedene interakcije istraživanja. S obzirom na interakciju AB (tip mlaznice x brzina rada), zanošenje iznosi od 13,94 (plava mlaznica i brzina rada od 6 km/h) do 25,73% (zelena mlaznica i brzina rada od 8 km/h). Minimalna značajnost ($\alpha_{0,05}$) između navedenih interakcija ostvaruje se sa razlikom od 0,54%. Interakcijom AC (tip mlaznice x norma raspršivanja) ostvaruje se zanošenje tekućine od 13,23% (plava mlaznica i norma raspršivanja od 250 l/ha) do 28,41% (zelena mlaznica i norma raspršivanja od 400 l/ha). Minimalna značajna razlika ($\alpha_{0,05}$) između navedenih interakcija ostvaruje se sa razlikom od 0,93%. Interakcijom BC (brzina rada x norma raspršivanja) zanošenje iznosi od 14,65 (brzina rada od 8 km/h i norma raspršivanja od 250 l/ha) do 30,56% (brzina rada od 8 km/h i norma raspršivanja od 400 l/ha). Minimalno potrebna značajna razlika ($\alpha_{0,05}$) u ovom slučaju između interakcija iznosi 0,72%. Kombinacijom sva tri glavna tehnička čimbenika raspršivanja zanošenje se kreće od 9,87 (plava mlaznica, brzina rada od 6 km/h i norma raspršivanja od 250 l/ha) do 36,28% (zelena mlaznica, brzina rada od 8 km/h i norma raspršivanja od 400 l/ha). Minimalno potrebna značajna razlika ($\alpha_{0,05}$) između ovih interakcija iznosi 1,59%.

6. RASPRAVA

6.1. Uzgojne karakteristike nasada jabuke

Nasad jabuke korišten u istraživanju ima oblik vitkog vretena koji predstavlja standardni uzgojni oblik u našem agroekološkom okruženju. Sastoji se od provodnice i primarnih grana koje su ujedno i rodno drvo ili se sastoji od kratkih primarnih grana koje na sebi nose rodno drvo. Kod ovog oblika plodovi se najčešće uzgajaju maksimalno do visine 2,2 – 2,5 m. Nasad jabuke je posađen na međuredni razmak od 3,5 m, a razmak između biljaka unutar reda iznosi 1,0 m. Prema navedenim podacima izračunava se prosječna uzgojna površina koja za nasad jabuke iznosi 1,47 m². Prosječni *LAI* za nasad jabuke iznosi 1,76 m²/m², a prosječni *LAD* iznosi 4,59 m²/m³ (tablica 6.).

Manktelow, D.W. (1998) u svome istraživanju koristi više uzgojnih oblika nasada jabuke velikih međurednih razmaka i razmaka u redu. Uzgojni oblik vitko vreteno sa međurednim razmakom od 4,0 m i razmakom u redu od 2,0 m, te prosječnom visinom od 3,5 m ostvaruje *LAI* od 1,7 m²/m² i *LAD* od 3,1 m²/m³

6.2. Glavna svojstva istraživanja tijekom eksploatacije radijalnog raspršivača (*Hardi Arrow*) u nasadu jabuke

Izmjerene vrijednosti pokrivenosti tretirane površine ostvarene sa radijalnim raspršivačem (*Hardi Arrow*) u nasadu jabuke kreću se od 28,87% (žuta mlaznica, brzina rada od 6 km/h te norma raspršivanja od 250 l/ha) do 64,87% (zelena mlaznica, brzina rada od 8 km/h te norma raspršivanja od 400 l/ha). Prosječna pokrivenost svih tretmana iznosi 44,12%. Razlike u pokrivenosti tretirane površine po visinama krošnje statistički su značajne, pa je pokrivenost donje razine krošnje manja u odnosu na srednju za 4,42.

S obzirom na tip mlaznice, pokrivenost tretirane površine sa radijalnim raspršivačem u nasadu jabuke (*Hardi Arrow*) iznosi od 37,41% (plava) do 51,31% (zelena). Značajno veću pokrivenost tretirane površine pokazuje zelena mlaznica u odnosu na plavu za 27,09%, te u odnosu na žutu za 14,67%, dok žuta mlaznica pokazuje veću pokrivenost u odnosu na plavu za 14,55%.

Promatrajući brzinu rada, pokrivenost tretirane površine iznosi od 33,34% (6 km/h) do 49,36% (8 km/h). Vrlo značajna razlika utvrđuje se za brzinu rada od 8 km/h koja ostvaruje veću pokrivenost površine za 21,04%. S obzirom na normu raspršivanja, pokrivenost tretirane površine iznosi od 36,85% (250 l/ha) do 52,73% (350 l/ha). Značajno veću pokrivenost tretirane površine pokazuje norma raspršivanja od 400 l/ha u odnosu na

250 l/ha za 30,11%, te u odnosu na 325 l/ha za 18,62%. Norma raspršivanja od 325 l/ha pokazuje veću pokrivenost u odnosu na 250 l/ha za 14,12%. Usljed povećavanja radnog tlaka, utvrđuje se značajno povećavanje pokrivenosti tretirane površine ($r = 0,92$, $p < 0,05$).

Marucco, P. i sur. (2008) istraživali utjecaj šest različitih brzina rada raspršivača (3,9 – 13 km/h), šest različitih brzina zraka (3,7 – 23 m/s) i četiri različite norme raspršivanja (200 – 1.000 l/ha) na pokrivenost tretirane površine u nasadu breskve. Istraživanje je pokazalo da je najbolji rezultat pokrivenost površine ostvaren pri brzini rada stroja od 7 km/h, brzini zraka od 14 m/s i normi raspršivanja od 400 l/ha. U usporedbi sa navedenim, najveća pokrivenost tretirane površine eksploatacijom raspršivača *Hardi Arrow* u nasadu jabuke iznosi 64,87% (brzina zraka od 25,22 m/s, brzina rada od 8 km/h, norma raspršivanja od 400 l/ha sa zelenom mlaznicom).

6.3. Broj kapljica/cm²

Broj kapljica/cm² ostvaren sa radijalnim raspršivačem (*Hardi Arrow*) u nasadu jabuke se kreće od 52,45 (plava mlaznica, brzina rada od 6 km/h i norma raspršivanja od 250 l/ha) do 157,91 kapljica (zeleno mlaznica, brzina rada od 8 km/h i norma raspršivanja od 400 l/ha). Prosječni broj kapljica svih tretmana iznosi 91,83 kapljica/cm².

S obzirom na tip mlaznice, broja kapljica/cm² s radijalnim raspršivačem u nasadu jabuke (*Hardi Arrow*) iznosi od 69,33 (plava) do 113,50 kapljica (zeleno). Značajno veći broj kapljica/cm² ostvaruje zelena mlaznica u odnosu na plavu za 38,91%, te u odnosu na žutu za 18,27%. dok žuta mlaznica ostvaruje veći broj kapljica u odnosu na plavu za 25,16%.

Promatranjem brzine rada, broj kapljica/cm² kreće se od 84,56 (6 km/h) do 99,09 kapljica (8 km/h). Vrlo značajna razlika utvrđuje se za brzinu rada od 8 km/h koja ostvaruje veći broj kapljica/cm² za 14,66%.

S obzirom na normu raspršivanja, broja kapljica/cm² iznosi od 76,43 (250 l/ha) do 109,68 kapljica (400 l/ha). Značajno veći broj kapljica/cm² ostvaruje norma raspršivanja od 400 l/ha u odnosu na 250 l/ha za 29,42%, te u odnosu na 325 l/ha za 19,82%. Norma raspršivanja od 325 l/ha ostvaruje veći broj kapljica/cm² u odnosu na 250 l/ha za 11,97%.

Usljed povećavanja radnog tlaka, utvrđuje se značajno povećanje broja kapljica/cm² ($r = 0,96$, $p < 0,05$), te se povećanjem pokrivenosti tretirane površine povećava broj kapljica/cm² ($r = 0,88$, $p < 0,05$).

Salyani, M., i Fox, R.D. (1999) istražuju pokrivenost tretirane površine sa devet različitih tipova raspršivača, pri istim parametrima raspršivanja i vremenskim uvjetima.

Raspršivač koji ostvaruje najbolji rezultat preporučuje se za daljnju eksploataciju u nasadu gdje je istraživanje obavljeno.

Da bi se ostvarila zadana norma raspršivanja od primjerice 325 l/ha, sa žutom mlaznicom pri brzini rada od 6 km/h radni tlak mora iznositi 5,50 bar. Pri istoj normi raspršivanja i tipu mlaznice, ali radnoj brzini od 8 km/h, radni tlak mora iznositi 9,78 bar da se rasprši navedena norma. Uslijed povećavanja radnog tlaka povećava se i pokrivenost tretirane površine ($r = 0,80 - 0,92$, $p < 0,05$), ali i radna brzina. Iz navedenog razloga, povećanjem radne brzine sa 6 na 8 km/h povećava se pokrivenost tretirane površine.

6.4. Prosječni promjer kapljica

Vrijednosti prosječnog promjera kapljica ostvarenog s radijalnim raspršivačem (*Hardi Arrow*) u nasadu jabuke se kreću od 189,43 μm (žuta mlaznica, brzina rada od 6 km/h i norma raspršivanja od 300 l/ha) do 123,36 μm (zelena mlaznica, brzina rada od 8 km/h i norma raspršivanja od 350 l/ha). Prosječni promjer svih tretmana iznosi 161,30 μm

S obzirom na tip mlaznice, prosječni promjer kapljica s radijalnim raspršivačem u nasadu jabuke (*Hardi Arrow*) iznosi od 171,95 μm (plava) do 148,66 μm (zelena). Značajno manji prosječni promjer kapljica ostvaruje zelena mlaznica u odnosu na plavu za 13,54%, te u odnosu na žutu za 9,94%. Žuta mlaznica ostvaruje manji promjer u odnosu na plavu za 3,99%.

Promatranjem brzine rada, prosječni promjer kapljica iznosi od 170,75 μm (6 km/h) do 153,05 μm (8 km/h). Vrlo značajna razlika utvrđuje se za brzinu rada od 8 km/h koja ostvaruje manji promjer kapljica za 0,36%. S obzirom na normu raspršivanja, prosječni promjer kapljica iznosi od 175,87 μm (250 l/ha) do 149,41 μm (400 l/ha).

Značajno manji prosječni promjer kapljica ostvaruje norma raspršivanja od 400 l/ha u odnosu na 250 l/ha za 15,04%, te u odnosu na 325 l/ha za 6,85%. Norma raspršivanja od 325 l/ha ostvaruje manji prosječni promjer u odnosu na 250 l/ha za 8,79%.

Uslijed povećanja radnog tlaka, utvrđuje se značajno smanjenje prosječnog promjera kapljica ($r = - 0,90$; $p < 0,05$), te se povećanjem pokrivenosti tretirane površine smanjuje prosječni promjer kapljica ($r = - 0,90$, $p < 0,05$). Pri povećanju broja kapljica/cm² dolazi do značajnog smanjenje prosječnog promjera kapljica ($r = - 0,85$, $p < 0,05$).

Autori, Williams, W. i sur. (1999) navode da su veličina kapljica, tip mlaznice i radni tlak, glavna tri čimbenika s kojima se manipulira da se ostvari najveća moguća pokrivenost tretirane površine. Prema njima, optimizira se navedenim tehničkim čimbenicima raspršivanja da bi se ostvarila zadovoljavajuća pokrivenost tretirane površine.

Wolf, R.E. i sur. (1999), te Cross, J.V. i sur., (2003), navode da se veći broj kapljica po kvadratnom centimetru postiže povećanjem radnog tlaka, dok Porras Sorriano i sur., (2005) navode da se povećanjem radnog tlaka postiže veća pokrivenost površine. S obzirom na navedenu tvrdnju, slično se utvrđuje i vlastitim istraživanjem gdje se primjerice broj kapljica/cm² kreće od 51,83 pri radnom tlaku od 1,51 bar do 155,67 kapljica pri radnom tlaku od 25,53 bar (*Hardi Zatum* u nasadu jabuke).

6.5. Zanošenje tekućine (drift)

Promatranjem svojstva zanošenja tekućine ostvarenog s radijalnim raspršivačem (*Hardi Arrow*) u nasadu jabuke, vrijednosti su od 9,87 (plava mlaznica, brzina rada od 6 km/h i norma raspršivanja od 250 l/ha) do 41,57% (zeleno mlaznica, brzina rada od 8 km/h i norma raspršivanja od 400 l/ha).

S obzirom na tip mlaznice, zanošenje tekućine s radijalnim raspršivačem u nasadu jabuke (*Hardi Arrow*) kreće se od 17,66 (plava) do 22,09% (zeleno). Značajno veće zanošenje ostvaruje zelena mlaznica u odnosu na plavu za 20,05%, te u odnosu na žutu za 9,09%. Žuta mlaznica ostvaruje veće zanošenje u odnosu na plavu za 17,73%.

Promatranjem brzine rada, prosječno zanošenje tekućine kreće se od 17,12 (6 km/h) do 21,25% (8 km/h). Vrlo značajna razlika utvrđuje se za brzinu rada od 8 km/h koja ostvaruje veće zanošenje tekućine za 19,43%.

S obzirom na normu raspršivanja, prosječno zanošenje tekućine iznosi od 14,86% (250 l/ha) do 26,04% (400 l/ha). Značajno veće zanošenje tekućine ostvaruje norma raspršivanja od 400 l/ha u odnosu na 250 l/ha za 42,30%, te u odnosu na 325 l/ha za 36,05%, dok norma raspršivanja od 325 l/ha ostvaruje veće zanošenje u odnosu na 250 l/ha za 10,75%. Uslijed povećavanja radnog tlaka, utvrđuje se značajno povećavanje zanošenja tekućine ($r = 0,81$; $p < 0,05$), te se povećanjem pokrivenosti tretirane površine također povećava zanošenje tekućine ($r = 0,85$, $p < 0,05$).

S obzirom na problematiku zanošenja tekućine, Ozkan, H.E. (2004) navodi da su kapljice manje od 200 μm najosjetljivije na zanošenje tekućine. Isti autor navodi (1998.) da se negativna strana malih kapljica očituje u tome što su vrlo podložne zanošenju, te da gubitci zanošenjem malih kapljica sežu sve do 70%. Stoga predlaže da se za svaki raspršivač i nasad odredi granica smanjenja kapljica za dobivanje optimalne pokrivenosti tretirane površine i minimalnog zanošenja tekućine.

Eksploatacijom raspršivača *Hardi Arrow* u nasadu jabuke optimalna pokrivenost tretirane površine ostvaruje se sa zelenom mlaznicom, brzinom rada od 8 km/h i normom

raspršivanja od 325 l/ha koja se ostvaruje sa radnim tlakom od 16,84 bar. Pri navedenim podešavanjima pokrivenost tretirane površine iznosi 59,55%, sa zanošenjem tekućine u iznosu od 21,10%.

7. ZAKLJUČCI

Radne brzine korištene pri istraživanju (6 i 8 km/h) nalaze se u okviru optimalnih agrotehničkih brzina rada (*mjerenjem vremena potrebnog za obavljanje pojedinog tretmana pri određenoj radnoj brzini, ostvareni su vrlo mali prosječni vremenski otkloni – od 0,05% do 1,79*).

Protok *Lechler TR 8003, 02 i 015* mlaznica odgovara *ISO* standardu te se raspršivanjem osigurava potreban norma uz korištenje odgovarajućih radnih tlakova.

Korišteni radni tlakovi (*od 1,51 do 25,52 bar*) u kombinaciji sa odgovarajućim mlaznicama brzinom rada te međurednim razmakom nasada osiguravaju normu raspršivanja potrebnu za obavljanje pojedinog tretmana.

Korišteni protoci zraka u nasadu jabuke (*14.154,75 m³/h*) odgovaraju uzgojnom obliku, razvojnoj fazi i bujnosti trajnih nasada.

Prosječna brzina zraka pri radu radijalnog raspršivača znatno je veća na desnoj strani stroja s obzirom na lijevu (*razlika od 19.60%*).

Eksploatacijom radijalnog raspršivača (*Hardi Arrow*) utvrđena je uniformna vertikalna raspodjela prosječne brzine zraka (*desna strana stroja sa vrijednostima od 23,50 m/s do 26,50 m/s ostvaruje koeficijent varijacije od 5,61%, a lijeva strana stroja sa vrijednostima od 20,75 m/s do 27,25 m/s ostvaruje koeficijent varijacije od 10,51%*).

Pri radu raspršivača *Hardi Arrow* u nasadu jabuke utvrđeno je prosječno smanjenje brzine zraka na rubu krošnje od 46,19%.

Povećanjem radnog tlaka radijalnog raspršivača povećava se pokrivenost tretirane površine (*r = 0,80 – 0,92, p < 0,05*).

Povećanjem radnog tlaka povećava se broj kapljica/cm² (*r = 0,89 – 0,96, p < 0,05*).

Povećavanjem radnog tlaka smanjuje se prosječni promjer kapljica (*r = -0,81 do -0,90, p < 0,05*).

Glavni tehnički čimbenici raspršivanja (*tip mlaznice, brzina rada i norma raspršivanja*) imaju značajan utjecaj na zanošenje tekućine, te se zaključuje značajno povećavanje zanošenja sa smanjivanjem *ISO* broja mlaznice, povećanjem brzine rada i povećanjem norme raspršivanja (*Hardi Arrow u nasadu jabuke od 9,87 do 36,28%*).

8. POPIS LITERATURE

1. Berčić, S. (1999): Composed air flow in pesticide spraying, *Agriculturae conspectus scientificus*, Vol. 64, No 3., 161-177.
2. Butler Ellis, M. C., Swan, T., Miller, C. H., Waddelow, S., Bradley, A., Tuck, C. R. (2002): Design Factors affecting Spray Characteristics and Drift Performance of Air Induction Nozzles, *Biosystems Engineering* 82 (3), 289–296.
3. Cross, J. V., Walklate, P. J., Murray, R. A., Richardson, G.M. (2003): Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer, *Crop protection*, Vol 25, No.2. - Deveau, S.T. (2010): Fungicide Spray Coverage, *Hort. Matters*, Vol 10., No 2.
4. Duvnjak, V., Banaj, Đ., Zimmer, R., Guberac, V. (1998): Influence of nozzle wear on flow rate and stram droplet size, *Bodenkultur*, 49(3): 189 – 192.
5. Etheridge, R.E., Womac, A.R., Mueller, T.C. (1999): Characterization of the SprayDroplet Spectra and Patterns of Four Venturi – Type Drift Reduction Nozzles, *Weed Technology*, Vol. 13: 765-770.
6. Fox, R.D., Derksen, R.C., Cooper, J.A., Krause, C.R., Ozkan, H.E. (2003): Visual and image system measurement of spray deposit using water – sensitive paper, *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 19(5): 549 –552.
7. Frankel, H. (1986): Pesticide application, technique and efficiency, *Advisory Work in Crop Pest and Disease Management*, Springer Verlag, New York, 132-160.
8. Furness, G., Campbell, K., Wicks, T., Hall, B. (2003): Improved spray coverage with the multi-head HYDRA sprayer, *South Australian Research and Development Institute*
9. Harz, M., Knoche, M. (2001): Droplet sizing using silicone oils, *Crop Protection*, Vol. 20 (6), 489 – 498.
10. Hoffmann, W. C., Hewitt, A. J. (2005): Comparasion of three imaging systems for water – sensiive papers, *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 21(6): 961– 964.
11. Holownicki, R, Doruchowski, G., Swiechowski, W., Jaeken, P. (2002): Methods of evaluation of spray deposit and coverage on artificial targets, *Research Institute of Pomology and Floriculture, Skierniewice, Poland Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, Vol. 5(1).
12. International Labour Organization (1999.): *Safety and health in agriculture*, ISBN 978-92-2-111517-5
13. Košutić i sur. (2014): *Aktualni zadaci mehanizacije poljoprivrede*

14. Landers, A., Farooq, M. (2004): Reducing Spray Drift From Orchards, *New York Fruit Quarterly*, Vol.12 (3).
15. Marcal,R.S (2008): Alternative Methods for Counting Overlapping Grains in Digital Images *Image Analysis and Recognition, Lecture Notes in Computer Science, Volume 5112*.
16. Manktelow, D.W. (1998): Factors affecting spray deposits and their biological effects on New Zealand apple canopies, Doctor disertation, Massey University, Auckland, New Zeland.
17. Marucco, P., Tamagnone, M., Balsari, P. (2008): Study of Air Velocity Adjustment to Maximise Spray Deposition in Peach Orchards, *Agricultural Engineering International, The CIGR Ejournal, Manuscript ALNARP 08 009, Vol. 10*.
18. McFadden – Smith, W. (2003): Evaluation of vineyard sprayer performance and environmental impact using image analysis and other techniques, Ministry of Agriculture and Food, Ontario, Canada.
19. Metthews, G.A (1979): Pesticide application methods, Longmans, London.
20. Nuyttens, D., Baeten, K., De Schamphelre, M., Sonck, B. (2007): Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics, *Biosystems Engineering* 97, 333 – 345.
21. Ozkan, H. E. (1998): New Nozzles for Spray Drift Reduction, Ohio State University Extension Fact Sheet, AEX-523-98, ohioline.ag.ohio-stete.edu, USA.
22. Ozkan, H. E., Derksen, R.C. (2004): Effectiveness of Turbodrop and Turbo Teejet Nozzles in Drift Reduction, Ohio State University Extension Fact Sheet, AEX-524-98, ohioline.ag.ohio-stete.edu, USA.
23. Panneton, B. (2002): Image analysis of water – sensitive cards for spray coverage experiments, *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 18(2): 179–182.
24. Papadakis, S.E., Abdul-Malek, S., Kamdem, R.E., Yam, K.L. (2000): A Versatile and Inexpensive Technique for Measurement Color of Foods, *Food Technology*, 54: 48–51.
25. Porrás Soriano, A., Porrás Soriano, M.L., Porrás Piedra, A., Soriano Martín, M.L. (2005): Comparison of the pesticide coverage achieved in a trellised vineyard by a prototype tunnel sprayer, a hydraulic sprayer, an air-assisted sprayer and a pneumatic sprayer, *Spanish Journal of Agricultural Research* 3(2), 175-181.
26. Praat, J.P., Manktelow, D., Suckling, D.M., Maber, J. (1996): Can application technology help to manage pesticide resistance ? NZPPS paper, *Canadian Application Technology*.

27. Prodanov, D., Verstreken, K. (2012): Automated Segmentation and Morphometry of Cell and Tissue Structures. Selected Algorithms in ImageJ, In tech open sciens/open minds, Molecular Imaging, March 16th, 183 – 208
28. Randall, J.M. (1971): The relationships between air volume and pressure on spray distribution in fruit trees, Journal of Agricultural Engineering Research 16: 1- 31.
29. Salyani, M., Fox, R.D. (1999): Evaluation of spray quality by oil - and water-sensitive papers, Trans. of ASAE, 42:37 – 43.
30. Šumanovac, L., Brkić, D., Jurišić, M. (1994): Utjecaj broja i veličine kapi na pokrivenost površine lista pšenice, Zbornik radaova „Aktualni zadatci mehanizacije poljoprivrede“, Opatija, 169 – 176.
31. Šumanovac, L., Spajić, I., Kiš, D., Kraljević, D. (2008): Dynamics and deposit of spray droplets disintegrated by the nozzles of a tractor – mounted sprayer, Cereal Research Communications 36, 791 – 794.
32. Tadić, V., Banaj Đ., Banaj, Ž. (2010): Raspodjela tekućine s ratarskim mlaznicama izrađenim od mesinga, 45. hrvatski i 5 međunarodni simpozija agronoma, Opatija 2010., 1219 – 1223.
33. Williams, W., Gardisser, D., Wolf, R., Whitney, R. (1999): Field and Wind Tunnel Droplet Spectrum Data for the CP Nozzle, American Society of Agricultural Engineers/National Agricultural Aviation Association, Paper No. AA99-007, Reno, USA.
34. Wee, A.G., Lindsey, D.T., Kuo, S., Johnston, W.M. (2006): Color accuracy of commercial digital cameras for use in denistry, Dental Material, 22:553–559.
35. Wolf, R.E., Gardisser, D.R., Williams, W.L. (1999): Spray Droplet Analysis of Air Induction Nozzles Using WRK DropletScan Technology, 33rd Annual National Agricultural Aviation Association Convention, Reno 1999., USA.
36. Wolf, R.E., Minihan, C.L. (2003): Comparison of Drift Potential for Venturi, Extended Range and Turbo Flat - fan Nozzles, 37th Annual National Agricultural Aviation Association Convention, Reno 2003., USA.
37. Wolf, R.E., Williams, W.L., Gardisser, D.R., Whitney. R.W. (2004): Using DropletScan to Analyze Spray Quality, Faction shhet of the Biological and agricultural engineering, Kansas State University, SAD.
38. Wolf, T., Caldwell, B. (2006): Pesticide Rates, Water Volumes and Nozzles, Syngenta Crop Protection, The Pest Management Regulatory Agency, Agriculture and Agri-Food Canada.

39. Zhu, H., Salyani, M., Fox, R.D. (2011): A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution, *Computers and Electronics in Agriculture*, 76: 38–43.

Internetski izvori:

Agro Elektronika d.o.o, Prskalice i raspršivači, <http://agro-elektronika.hr/index.php/prskalice-i-rasprshivaci>, 3.3.2016.

Bennet's Tractor Service, <http://bennettstractor.com/category/listings/sprayers/>, 8.3.2016.

Global Terrestrial Observing System, Leaf area index, veljača 2001., http://www.fao.org/gtos/tems/variables/Leaf_area_index.pdf, 5.3.2016.

Hardi International, <http://www.hardi-international.com/global/products/mistblowers/mercury-arrow-orchard/features-and-specs/features/>, 8.3.2016.

Lambaša Belak, Ž., Zaštita okoliša, http://www.unizd.hr/portals/4/nastavni_mat/2_godina/zastita_ok/zastita_okolisa_01_01102_006.ppt, 3.3.2016.

Lechler, Hollow cone nozzles TR, http://www.lechler.de/Products/Agriculture/Nozzles-for-Space-Crops/Hollow-cone-nozzles-TR/-cbigl_AAABSGEAAAEvsIoh.E.A-en_US, 9.3.2016.

9. SAŽETAK

Provedeno istraživanje je obavljeno korištenjem radijalnog raspršivača *Hardi Arrow* u nasadu jabuke. Cilj istraživanja bio je dobiti spoznaju o utjecaju glavnih tehničkih čimbenika raspršivanja (tip mlaznice, brzina rada i norma raspršivanja) na pokrivenost tretirane površine, broj kapljica/cm², prosječni promjer kapljica te zanošenje tekućine. Korištene brzine rada raspršivača su 6 km/h te 8 km/h, a norme raspršivanja 250, 325 te 400 l/ha. Od mlaznica su se koristile plave (*TR 8003*), žute (*TR 8002*) te zelene (*TR 80015*) *Lechler* mlaznice. Istraživanje je postavljeno kao trofaktorijelni poljski pokus s 18 tretmana u 2 ponavljanja ovisno o postavkama raspršivača. Za svaki tretman na stablo je bilo postavljeno 60 vodoosjetljivih papirića koji su kasnije obrađeni pomoću računalne analize slike u programu *ImageJ*. Osim glavnih svojstava istraživanja utvrdio se i indeks lisne površine te indeks lisne gustoće. Prije samog istraživanja raspršivač je bio testiran prema europskom standardu *EN 13790*. Povećanjem brzine rada raspršivača, povećanjem norme raspršivanja te smanjenjem *ISO* broja mlaznice povećava se pokrivenost tretirane površine, broj kapljica/cm², ali i zanošenje, te se smanjuje prosječni promjer kapljica. Radijalni raspršivač *Hardi Arrow* je postigao solidne rezultate u nasadu jabuka; pokrivenost tretirane površine se kreće od 28,27% (žuta mlaznica, brzina rada od 6 km/h te norma raspršivanja od 400 l/ha) do 64,87% (zelena mlaznica, brzina rada od 8 km/h te norma raspršivanja od 400 l/ha), zanošenje se kreće od 9,87% (plava mlaznica, brzina rada od 6 km/h te norma raspršivanja od 250 l/ha) do 36,28% (zelena mlaznica, brzina rada od 8 km/h te norma raspršivanja od 400 l/ha). Najbolji odnos pokrivenosti tretirane površine i zanošenja tekućine u nasadu jabuke ostvaruje se pri pokrivenošću tretirane površine od 59,55% te zanošenju tekućine od 21,10% (zelena mlaznica, brzina rada od 8km/h te norma raspršivanja od 325 l/ha uz radni tlak od 16,84 bar).

10. SUMMARY

The conducted research was done by using a radial sprayer *Hardi Arrow* in an apple orchard. The aim of this study was to gain knowledge about the impact of the main technical factors of spraying (nozzle type, sprayer's working speed and the spraying standard) on the coverage of the treated area, the number of drops/cm², the average diameter of the droplets and fluid drift. The sprayer's working speeds used in this research were 6 km/h and 8 km/h and spraying standards were 250, 325 and 400 l/ha. Nozzles which were used in this research are blue (*TR 8003*), yellow (*TR 8002*) and green (*TR 80015*) *Lechler* nozzles. The study was set up as a three-factorial field experiment with 18 treatments in 2 repetitions depending on the sprayer's settings. For each treatment the tree was covered with 60 water sensitive papers which were later processed using a digital image analysis program *ImageJ*. In addition to the main factors of the research, the leaf area index and the index of leaf density were measured too. Prior to research, the sprayer has been tested according to European standard *EN 13790*. By increasing the sprayer's working speed and increasing the spraying standard while reducing the nozzles' *ISO* number, the coverage of the treated area was increased along with the number of drops/cm² and drift, while the average diameter of the droplets was decreased. Radial sprayer *Hardi Arrow* scored solid results in the apple orchard; coverage of the treated area ranges from 28,27% (yellow nozzle, working speed of 6 km/h and spraying standard of 400 l/ha) to 64,87% (green nozzle, working speed of 8 km/h and spraying standard of 400 l/ha), drift ranges from 9,87% (blue nozzle, working speed of 6 km/h and spraying standard of 250 l/ha) to 36,28% (green nozzle, working speed of 8 km/h and spraying standard of 400 l/ha). The best ratio of coverage of the treated area and drift of the liquid in an apple orchard is achieved by having the coverage of the treated area of 59,55% and the drift of the fluid at 21,10% (green nozzle, working speed of 8 km/h and spraying standard of 325 l/ha with working pressure of 16,84 bar).

11. POPIS TABLICA

| | |
|-------------|--|
| Tablica 1. | Pregled protoka mlaznica prema <i>ISO 10625</i> standardu |
| Tablica 2. | Postavke sustava za analizu slike |
| Tablica 3. | Razredi veličine otiska kapljice i faktori preračunavanja |
| Tablica 4. | Prosječne vrijednosti mjerenja brzine i protoka zraka radijalnog raspršivača u nasadu jabuke |
| Tablica 5. | Protok zraka pri izvođenju istraživanja |
| Tablica 6. | Uzgojne karakteristike nasada jabuke |
| Tablica 7. | Rezultati ostvarenih mjerenja pri obavljanju tretmana radijalnim raspršivačem |
| Tablica 8. | Rezultati ostvarene prosječne pokrivenosti tretirane površine po pojedinom tretmanu – <i>Hardi Arrow</i> u nasadu jabuke |
| Tablica 9. | Analiza varijance za ispitivano svojstvo pokrivenosti tretirane površine |
| Tablica 10. | Rezultati mjerenja veličine i broja kapljica/cm ² sa radijalnim raspršivačem (<i>Hardi Arrow</i>) u nasadu jabuke |
| Tablica 11. | Analiza varijance za ispitivano svojstvo broja kapljica/cm ² |
| Tablica 12. | Analiza varijance za ispitivano svojstvo prosječnog promjera kapljica |
| Tablica 13. | Rezultati mjerenja zanošenja tekućine u nasadu jabuke s radijalnim raspršivačem (<i>Hardi Arrow</i>) |
| Tablica 14. | Analiza varijance za ispitivano svojstvo zanošenja tekućine |

12. POPIS SLIKA

| | |
|----------|---|
| Slika 1. | Raspršivač <i>Hardi Arrow</i> |
| Slika 2. | <i>Lechler TR 80</i> mlaznice |
| Slika 3. | Anemometar <i>Silva Windwatch</i> |
| Slika 4. | Vodoosjetljivi papirići (VOP) na jabuci |
| Slika 5. | Shema postavljanja VOP-a |
| Slika 6. | 4 slučajno odabrane površine na VOP-u |

13. POPIS GRAFIKONA

| | |
|-------------|---|
| Grafikon 1. | Vertikalna distribucija brzine zraka raspršivača <i>Hardi Arrow</i> u nasadu jabuke |
|-------------|---|

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Poljoprivredni fakultet u Osijeku
Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

Diplomski rad

Utjecaj tehničkih čimbenika raspršivanja na pokrivenost lisne površine s radijalnim raspršivačem u nasadu jabuke

Josip Milošević

Sažetak: Provedeno istraživanje je obavljeno korištenjem radijalnog raspršivača *Hardi Arrow* u nasadu jabuke. Cilj istraživanja bio je dobiti spoznaju o utjecaju glavnih tehničkih čimbenika raspršivanja (tip mlaznice, brzina rada i norma raspršivanja) na pokrivenost tretirane površine, broj kapljica/cm², prosječni promjer kapljica te zanošenje tekućine. Korištene brzine rada raspršivača su 6 km/h te 8 km/h, a norme raspršivanja 250, 325 te 400 l/ha. Od mlaznica su se koristile plave (*TR 8003*), žute (*TR 8002*) te zelene (*TR 80015*) *Lechler* mlaznice. Istraživanje je postavljeno kao trofaktorijelni poljski pokus s 18 tretmana u 2 ponavljanja ovisno o postavkama raspršivača. Za svaki tretman na stablo je bilo postavljeno 60 vodoosjetljivih papirića koji su kasnije obrađeni pomoću računalne analize slike u programu *ImageJ*. Osim glavnih svojstava istraživanja utvrdio se i indeks lisne površine te indeks lisne gustoće. Prije samog istraživanja raspršivač je bio testiran prema europskom standardu *EN 13790*. Povećanjem brzine rada raspršivača, povećanjem norme raspršivanja te smanjenjem *ISO* broja mlaznice povećava se pokrivenost tretirane površine, broj kapljica/cm², ali i zanošenje, te se smanjuje prosječni promjer kapljica. Radijalni raspršivač *Hardi Arrow* je postigao solidne rezultate u nasadu jabuka; pokrivenost tretirane površine se kreće od 28,27% (žuta mlaznica, brzina rada od 6 km/h te norma raspršivanja od 400 l/ha) do 64,87% (zelena mlaznica, brzina rada od 8 km/h te norma raspršivanja od 400 l/ha), zanošenje se kreće od 9,87% (plava mlaznica, brzina rada od 6 km/h te norma raspršivanja od 250 l/ha) do 36,28% (zelena mlaznica, brzina rada od 8 km/h te norma raspršivanja od 400 l/ha). Najbolji odnos pokrivenosti tretirane površine i zanošenja tekućine u nasadu jabuke ostvaruje se pri pokrivenošću tretirane površine od 59,55% te zanošenju tekućine od 21,10% (zelena mlaznica, brzina rada od 8km/h te norma raspršivanja od 325 l/ha uz radni tlak od 16,84 bar).

Rad je izrađen pri: Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Mentor: Vjekoslav Tadić, doc.dr.sc.

Broj stranica: 50

Broj grafikona i slika: 7

Broj tablica: 14

Broj literaturnih navoda: 94

Broj priloga: 0

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: raspršivač, mlaznica, brzina, norma, pokrivenost, zanošenje

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof.dr.sc. Đuro Banaj, predsjednik
2. doc.dr.sc. Vjekoslav Tadić, mentor
3. doc.dr.sc. Ivan Plaščak, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, Sveučilištu u Osijeku, Kralja Petra Svačića 1d

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agriculture
University Graduate Studies, course Mechanization

Graduate thesis

The impact of the main technical factors of spraying on the coverage of the treated area by
using a radial sprayer in an apple orchard

Josip Milošević

Abstract: The conducted research was done by using a radial sprayer *Hardi Arrow* in an apple orchard. The aim of this study was to gain knowledge about the impact of the main technical factors of spraying (nozzle type, sprayer's working speed and the spraying standard) on the coverage of the treated area, the number of drops/cm², the average diameter of the droplets and fluid drift. The sprayer's working speeds used in this research were 6 km/h and 8 km/h and spraying standards were 250, 325 and 400 l/ha. Nozzles which were used in this research are blue (*TR 8003*), yellow (*TR 8002*) and green (*TR 80015*) *Lechler* nozzles. The study was set up as a three-factorial field experiment with 18 treatments in 2 repetitions depending on the sprayer's settings. For each treatment the tree was covered with 60 water sensitive papers which were later processed using a digital image analysis program *ImageJ*. In addition to the main factors of the research, the leaf area index and the index of leaf density were measured too. Prior to research, the sprayer has been tested according to European standard *EN 13790*. By increasing the sprayer's working speed and increasing the spraying standard while reducing the nozzles' *ISO* number, the coverage of the treated area was increased along with the number of drops/cm² and drift, while the average diameter of the droplets was decreased. Radial sprayer *Hardi Arrow* scored solid results in the apple orchard; coverage of the treated area ranges from 28,27% (yellow nozzle, working speed of 6 km/h and spraying standard of 400 l/ha) to 64,87% (green nozzle, working speed of 8 km/h and spraying standard of 400 l/ha), drift ranges from 9,87% (blue nozzle, working speed of 6 km/h and spraying standard of 250 l/ha) to 36,28% (green nozzle, working speed of 8 km/h and spraying standard of 400 l/ha). The best ratio of coverage of the treated area and drift of the liquid in an apple orchard is achieved by having the coverage of the treated area of 59,55% and the drift of the fluid at 21,10% (green nozzle, working speed of 8 km/h and spraying standard of 325 l/ha with working pressure of 16,84 bar).

Thesis performed at: Faculty of Agriculture in Osijek

Mentor: Vjekoslav Tadić, doc.dr.sc.

Number of pages: 50

Number of figures: 7

Number of tables: 14

Number of references: 94

Number of appendices: 0

Original in: Croatian

Key words: sprayer, nozzle, speed, standard, coverage, drift

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. prof.dr.sc. Đuro Banaj, president
2. doc.dr.sc. Vjekoslav Tadić, mentor
3. doc.dr.sc. Ivan Plaščak, member

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Kralja Petra Svačića 1d.