

### ТРОМБА КОД ИНЂИЈЕ – АНАЛИЗА СЛУЧАЈА 06. ЈУНА 2008. ГОДИНЕ

**Извод:** Вртложна кретања ваздушних маса у виду тромбе (пијавице) представљају изузетно ретку појаву на простору Србије. И поред тога што се ради о знатно слабијем циклоналном кретању ваздушних маса него што су то нпр. торнада, њихова разорна моћ може изазвати знатне материјалне штете и представљати значајан фактор ризика за људске жртве. Савремена научна истраживања одликују се немогућношћу израде прецизних прогностичких модела на основу којих би било могуће предвидети када и где ће се појавити и то не само тромбе, већ и интензивније појаве као што су тропске депресије, олује, харикени и сл. Имајући у виду да се последњих година појавило обиље радова који дају доказе о повезаности процеса на Сунцу и атмосферских попремећаја, у раду су предочени аргументи који би могли указивати на овакву спрегу. На основу анализе астро-физичких параметара испитивана је потенцијална каузалност. Применом Ман-Витнијевог U теста, на дневним подацима за период 2004-2007. године, показало се да постоји значајна веза између појединих варијабли тј. показатеља Сунчеве активности и поремећаја у атмосфери. У прилог добијених резултата говоре и прорачуни добијени Вилкоксиновим тестом.

**Кључне речи:** тромба, астро-физичке предиспозиције, Инђија

#### Увод

Тромбе или пијавице тј. мини торнада су веома ретке појаве на нашим просторима. Захватају релативно мале површине и најчешће су ограничене на временски период до неколико сати. Позивајући се на Радосављевић М., (1978), Анђелковић Г., (2009) иситче да се први случај тромбе у Србији, који је детаљно научно описан, десио 10. јула 1977. године код Нове Вароши. Дуцић В., Танасијевић З., (1993) дају исцрпан приказ тромбе која се појавила 10. јула 1992. године у атарима села Пауне и Рајковић код Ваљева. Остали случајеви су везани за изјаве очевидаца и/или наводе у медијима. Према расположивим сазнањима, једина доступна фотографија активне тромбе на простору Србије, односи се на случај од 06. јуна 2008. године (слика 1) који се десио у близини Инђије (приближно 45° 03' северне географске ширине, 20° 06' источне географске дужине, 100 m нв).

Изучавајући ову проблематику на територији Португала Leitão P., (2003) сматра да је вероватноћа њиховог осматрања на метеоролошким станицама мала, зато што се одвијају на релативно ограниченем простору и по правилу на знатној удаљености од осматрачких места. Недостатак детаљне параметризације за овакве случајеве истиче и Turgell J., (2007) који је анализирао случај у Ирској од 12. јануара 2004. године. Међутим, посебан проблем представља њихово изненадно појављивање, које је за сада немогуће предвидети, поготово за средње и дугорочне временске прогнозе. Love G. B., (2006) констатује да настанак циклогенезе и њихових

---

\* др Милан Радовановић, Географски институт „Јован Цвијић” САНУ, Београд, rmilan@net.yu  
Рад представља резултат ангажовања на пројекту 146011 који финансира Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије.

трајекторија зависи и од феномена као што је ENSO<sup>2)</sup>, који још увек нису предвидиви. Markowski M. P., Richardson P. Y., (2009) такође сматрају да генеза торнада остаје без адекватних сазнања.



**Слика 1. Тромба код Инђије 06. јуна 2008. године** (фото Дејан Арсенов),  
([http://www.b92.net/info/galerija/zoom.php?nav\\_category=121&yyyy=2008&mm=6&start=306&image\\_id=76131](http://www.b92.net/info/galerija/zoom.php?nav_category=121&yyyy=2008&mm=6&start=306&image_id=76131))

Последњих година појавило се мноштво радова у којима се испитује повезаност између процеса на Сунцу и појединих климатских елемената. Проучавајући олује у Британији, Wheeler D., (2001) се ослањао на генералне аспекте процедуре коју је користио P. Corbyn. Ти аспекти су базирани на варијацијама у понашању Сунца, његовом магнетном пољу, коронарним ерупцијама и флукутирајућем карактеру Сунчевог ветра. Резултат је био да су у периоду од октобра 1995. до септембра 1997. године тачно прогнозиране 4 од 5 јаких олуја. Пета је имала грешку од 48 сати, с тим што се таква грешка (посматрано са аспекта метода који су се тек развијали) може сматрати маргиналном, једноставно јер је прогноза била урађена месецима раније. Колико нам је познато, поменути Corbyn своје методе нигде није публикувао, зато што се користе у комерцијалне сврхе. Troshichev O. A., Janzhura A., (2004), Troshichev O. A., et al, (2005) су доказали директну повезаност температуре ваздуха са интервалима промена, тј. маховитошћу Сунчевог ветра. Према овим ауторима, поремећај у флукуацији Сунчевог ветра доводи до промена у атмосферском струјном пољу, резултујући променама у облачности тропосфере, атмосферском радијационом буџету и динамици. Georgieva K., et al, (2007) долазе до резултата да се

<sup>2)</sup> El Nino-Southern Oscillation (Ел Нињо јужна осцилација)

дугопериодична корелација између Сунчеве активности и атмосферске циркулације мења у узастопним Сунчевим секуларним циклусима и зависи од асиметрије север-југ. Када је активнија северна Сунчева хемисфера, растућа активност доводи до опадања доминације зоналних циркулационих форми у атмосфери Земље и обрнуто. Аутори такође образлажу узрочно-последичне везе између Сунчеве електро-магнетне радијације, Сунчеве корпускуларне радијације, избацивања коронарних масених честица, магнетних облака и Сунчевог ветра са једне и опште циркулације атмосфере са друге стране. Закључци Suparta W., et al, (2008), Kniveton D. R., et al, (2008) су такође у сагласју са претхоно споменутим ауторима. На основу расположивих података, применом вишеструке линеарне регресије Миловановић Б., Радовановић М., (2009) су тестирали повезаност Сунчеве активности и атмосферске циркулације. Израчунате су вредности за  $R^2$  од 0,572-0,825.

Неупуштајући се у дискусију дали и на који начин евентуално антропогена делатност може довести до поремећаја или стварања циклона, може се споменути Vermette S., (2007) који каже да док број и време олуја тропског порекла чини се да расте, овај пораст се приписује мултидекадном циклусу, који је супротан тренду глобалног загревања.

### Статистичка анализа података и резултати

Имајући у виду изложене резултате, извршена је провера евентуалне повезаности између промена у Сунчевој активности и атмосферских поремећаја на глобалном нивоу, применом одговарајућих статистичких процедура, (Радовановић М., Миловановић Б., 2009). У том смислу су употребљени дневни подаци о Сунчевој активности у периоду 2004-2007. година (<http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse.html>) и дневни подаци о циклонима (од депресија до харикена) на читавој планети у истом периоду (<http://cimss.ssec.wisc.edu/tropic2/tropic.php?&testie6=1>). Графичком провером дистрибуција варијабли којима је представљена Сунчева активност, установљено је да ни код једне од њих не постоји нормална дистрибуција. Стога је за проверу значајности разлике у вредностима ових варијабли, у данима када постоји одређени поремећај атмосфере и у данима када поремећај не постоји, искоришћен Ман-Витнијев У тест (von Storch H., Zwiers F. W., 1999).

Табела 1. Mann-Whitney U тест

	Rank Sum – Group 1	Rank Sum – Group 2	U	Z	p-level	Z - adjusted	p-level	Valid N – Group 1	Valid N – Group 2
>1MeV protons	974046.0	93945.0	79067.0	6.116021	0.000000	6.116674	<b>0.000000</b>	1289	172
>10MeV protons	943816.0	124175.0	109297.0	0.299485	0.764570	0.302357	0.762380	1289	172
>100MeV protons	948657.5	119333.5	104455.5	1.231035	0.218311	1.232847	0.217634	1289	172
>0.6MeV elektrons	967721.0	100270.0	85392.0	4.899032	0.000001	4.899594	<b>0.000001</b>	1289	172
>2MeV elektrons	966431.5	101559.5	86681.5	4.650920	0.000003	4.651197	<b>0.000003</b>	1289	172

Показало се да код варијабли 1 MeV протони, 0.6 MeV електрони и 2 MeV електрони постоји статистички значајна разлика, односно да је Сунчева активност представљена овим варијаблама значајно виша у данима када постоји поремећај атмосфере, него што је то случај са данима у којима овакви поремећаји нису забележени (таб. 1).

Уколико претпоставимо да високоенергетске честице могу бити повезане са настанком тромбе или било ког облика циклоналног кретања ваздушних маса, онда је неопходно имати у виду да постоји одређена временска разлика између тренутка када је дошло до притицања протона и/или електрона и настанка поремећаја. За ту сврху је

искоришћен дизајн супепонираних епоха, при чему је с обзиром на то да се ради о статистички зависним подацима (временска серија), искоришћен Вилкоксонов тест. Одабрани ниво значајности са којим се закључује да постоји статистички значајна разлика је  $p < 0,1$ . Показало се да се само код протона јављају статистички значајне разлике између појединих дана. Када се посматрају 100 MeV протони значајна разлика постоји само између дана пре настанка поремећаја и другог дана након настанка. Код протона у енергетском опсегу од 10 MeV значајна разлика постоји између другог и првог дана пре настанка поремећаја, као и дана у коме је дошло до поремећаја атмосфере и дана након тога. Када се посматрају 1 MeV протони, значајна разлика постоји између другог дана пре настанка поремећаја у атмосфери и наредна три дана (односно дана пре настанка, дана настанка и дана након настанка поремећаја).

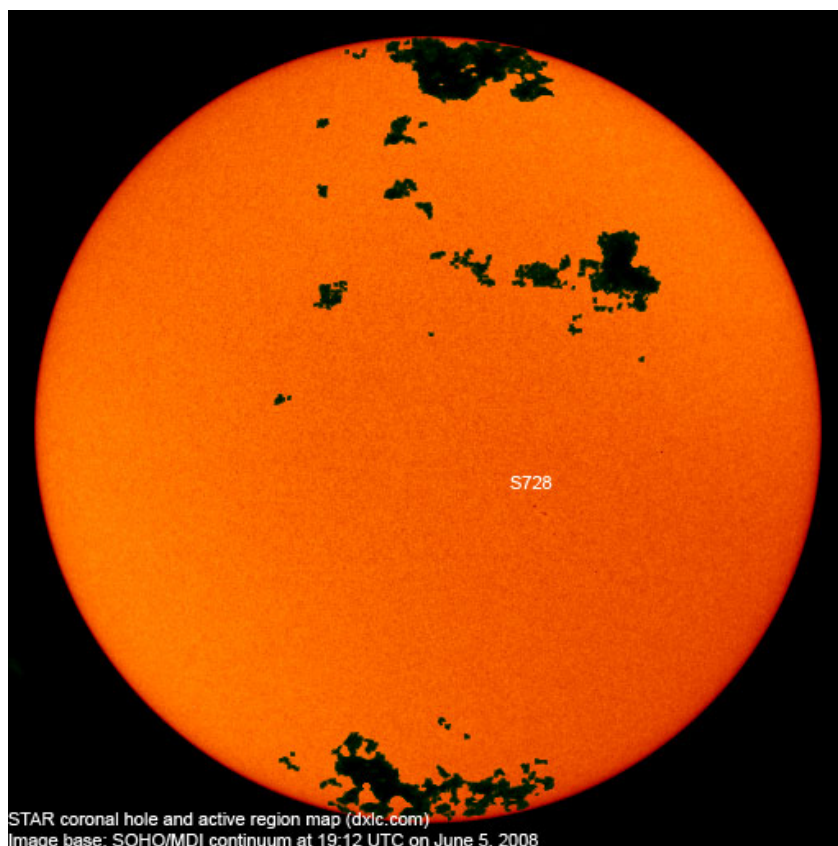
### **Анализа астрофизичких и метеоролошких услова за време тромбе код Инђије**

Истражујући хипотетичку могућност везе између процеса на Сунцу и процеса у атмосфери, у више наврата су истичани аргументи који сугеришу каузалност на теоријском нивоу, као и на појединим конкретним случајевима (Radovanović M., et al., 2003, Radovanović M., et al., 2005, Gomes J. F. P., Radovanovic M., 2008, Radovanović M., Gomes J.F.P., 2009). На основу добијених резултата проистиче да непосредно пре настанка циклонске активности, на Сунцу у геоэффективној позицији мора постојати извор корпускуларне енергије у виду коронарне рупе и/или енергетског региона. Таква ситуација је била и у случају тромбе код Инђије (ск. 1).

Емитовање енергије из геоэффективне позиције представља посебан проблем у контексту разраде прогностичких модела. Геометрија избијања појединих млазева Сунчевог ветра, од случаја до случаја, одликује се различитом дисперзношћу, тј. расипањем честица у простору, тако да и под претпоставком уједначене динамике, односно смањене маховитости, могућности квантитативног сагледавања дистрибуције енергије кроз атмосферу су ограничене. Meloni P., et al., (2005) такође истичу значај нестатичности геоэффективне позиције.

Разрађујући теоријску основу утицаја Сунчевог ветра на кретање ваздушних маса Stevančević M., et al., (2006) истичу да риконекција представља један од суштинских фактора развоја временских стања. Под риконекцијом се подразумева спајање интeрпланетарног магнетног поља и магнетног поља Земље и то у ситуацијама када је резултујући вектор интeрпланетарног магнетног поља негативан ( $-B_z$ ). Аутори наглашавају неопходност детаљне статистичке параметризације која би пружила основу за доказивање и развој модела, на основу кога би било могуће потврдити или оспорити претпоставку да у таквим околностима Сунчев ветар хидродинамичким притиском захвата и покреће ваздушне масе. Посредан показатељ, који такође потврђује евентуалну спрегу представља и Кр индекс. Elsner B. J., Kavlačkov P, S., (2001) констатују да када је Кр индекс већи, вероватноћа јаких харикена је већа.

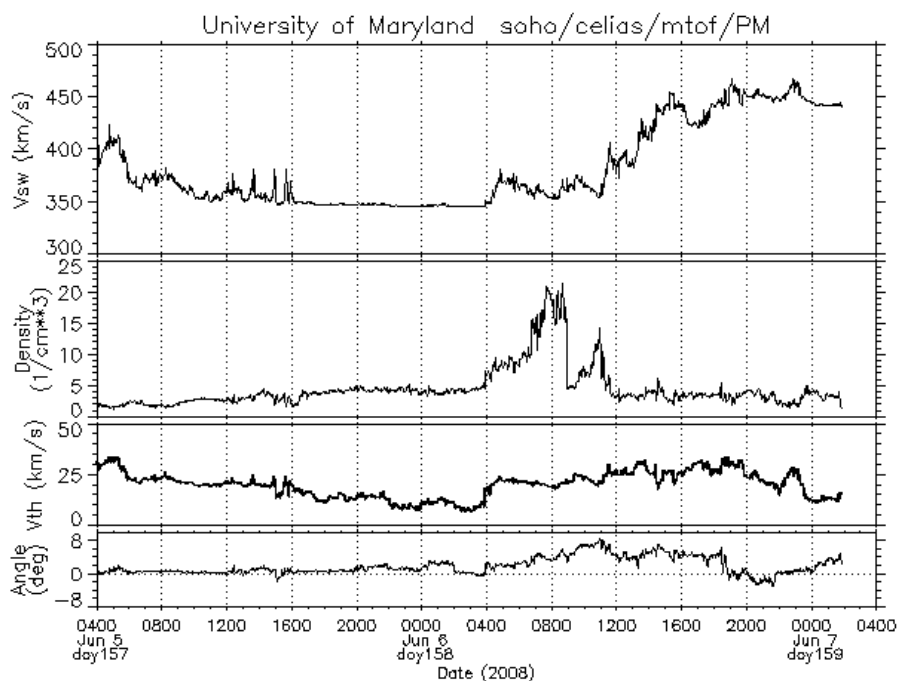
Schielicke L., Névir P., (2009) такође истичу потенцијалну могућност утицаја споља. По њима, у случају атмосферских депресија имбаланс је репрезентован поремећајем хидростатичке равнотеже.



Ск. 1. Положај коронарних рупа и енергетског извора на Сунцу један дан пре појаве тромбе у Инђији (<http://www.dxlc.com/solar/index.html>)

Према извору<sup>3)</sup> са кога је преузета ск. 2. максимална брзина протона је била око 450 km/s, док је максимална густина честица била 22 протона/cm<sup>3</sup>. Битно је напоменути да је током пре подневних сати дошло до наглог повећања густине и брзине честица. Посматрајући на тај начин, може се претпоставити да је фотографија тромбе код Инђије начињена у поподневним сатима. Потребно је такође нагласити неуједначеност или пулсирање и брзине и густине честица. Стим у вези Veretenenko S., Thejll P., (2004) констатују да анализе синоптичких карата показују да продубљивање циклona, корелираних са Сунчевим високоенергетским честицама, могу се узети у разматрање за регенерацију циклona. Осмотрена интензификација регенерисаних циклona у близини Гренланда сугерише да високоенергетске честице креирају услове који доприносе овим процесима. Може се претпоставити да управо због тога понашање торнада у одређеним деловима света показује различите карактеристике при чему узрок тих разлика, према Giajotti V. D. et al., (2007), још увек није познат.

<sup>3)</sup> Подаци су измерени на 1,5 милиона km од Земље



**Скица 2. Брзине и густине протона 05-07. јуна 2008. године**  
([http://umtof.umd.edu/pm/crn/CRN\\_2070.GIF](http://umtof.umd.edu/pm/crn/CRN_2070.GIF))

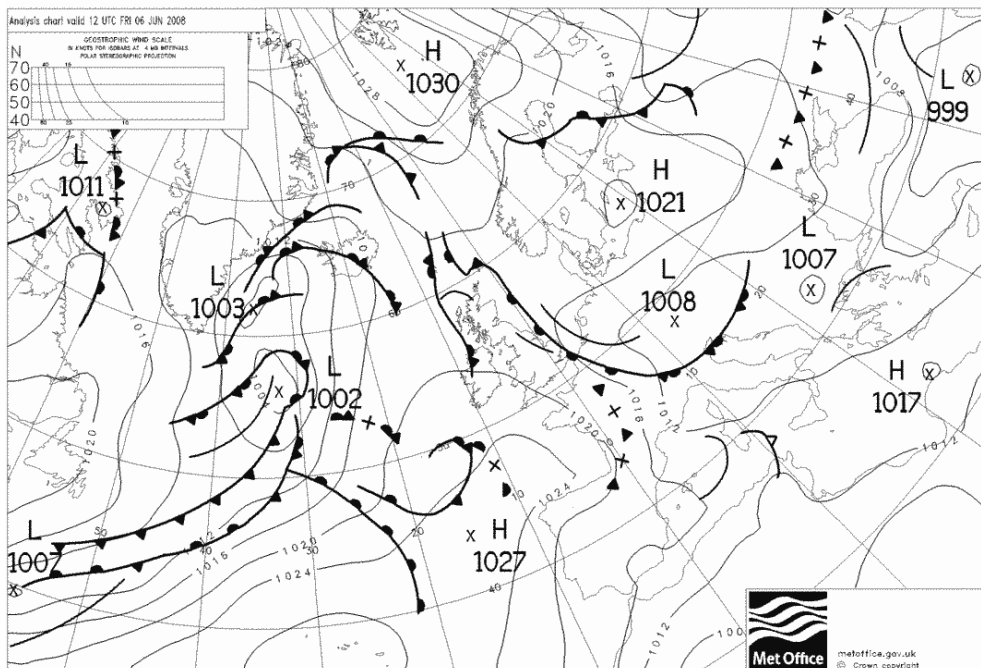
Узимајући у обзир да се код овог случаја можда ради о случајној коинциденцији разматраних параметара, у табели 2. су приказани подаци за протоне и електроне неколико дана пре и после појаве тромбе.

**Табела 2. Проток протона и електрона неколико дана пре и после појаве тромбе код Инђије**  
([http://www.swpc.noaa.gov/ftplib/warehouse/2008/2008\\_DPD.txt](http://www.swpc.noaa.gov/ftplib/warehouse/2008/2008_DPD.txt))

Date	Protons/cm2-day-sr			Electrons/cm2-day-sr	
	>1 MeV	> 10 MeV	>100 MeV	>0.6 MeV	>2 MeV
2008 06 04	2.1e+06	1.7e+04	3.9e+03	1.8e+10	2.7e+07
2008 06 05	2.0e+06	1.8e+04	4.1e+03	1.7e+10	3.1e+07
2008 06 06	1.9e+06	1.8e+04	4.0e+03	8.6e+09	1.1e+07
2008 06 07	1.3e+06	1.7e+04	4.1e+03	2.3e+09	2.1e+06
2008 06 08	1.0e+06	1.7e+04	4.0e+03	1.3e+10	6.7e+06
2008 06 09	1.2e+06	1.8e+04	4.1e+03	2.4e+10	1.5e+07

На основу приказаних података, може се видети да је само код протона 10 MeV дошло до „благог” раста непосредно пре појаве проучаване тромбе. Проистиче да се као потенцијална каузалност може приписати повећању брзине, густине и порасту протона у енергетском опсегу од 10 MeV. Према Tinsley A. B., Yu F., (2004) „не постоји тренутно пресудан резултат који би одредио колико је од посматраних декадних варијација настало због уласка флукса честица, када се упореди са укупним или спектралним променама зрачења. Међутим, не постоји таква двосмисленост што се тиче корелације атмосферске динамике са протоцима честица на временској скали дан за даном.”

Уколико имамо у виду да се развој временских стања над било којим делом Србије не може посматрати одвојено од регионалних атмосферских процеса на ск. 3 и 4. дат је приказ кретања ваздушних маса ширег окружења.

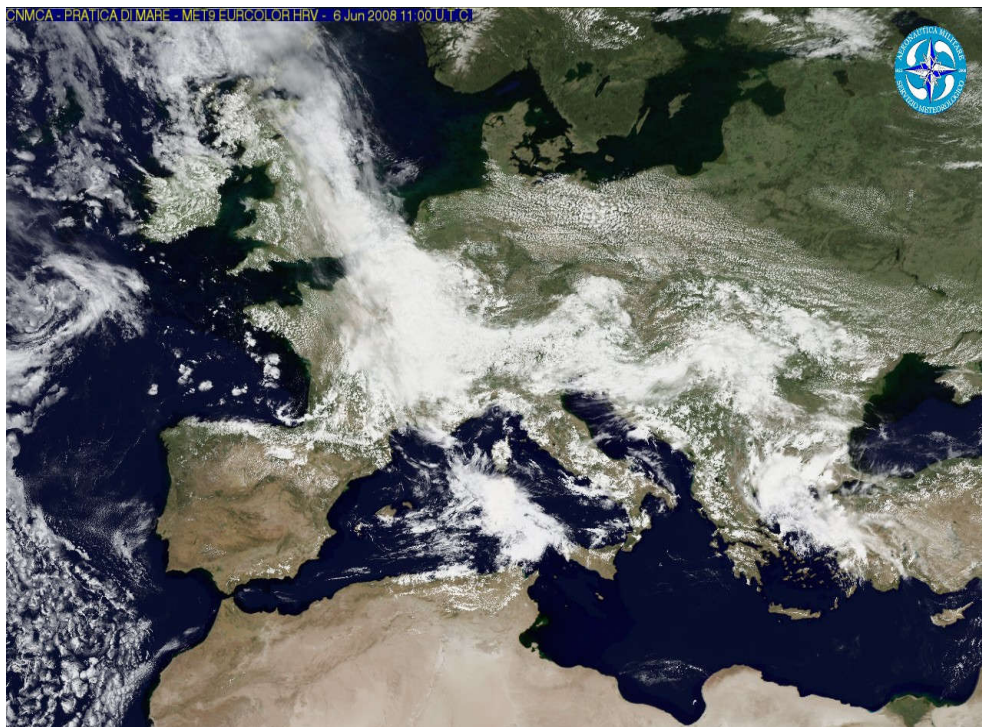


Скица 3. Синоптичка ситуација 06. јуна 2008. године над Европом  
(<http://meteonet.nl/aktueel/brackall.htm>)

Са претходне скице се може видети да је у средњој Европи, током поднева, био изражен фронтални продор који је пристизао са севера. На тај начин је теоријски могуће довести у везу риконекцију и продирање ваздушних маса из субполарних области. Источни део фронталне линије, у области северног Јадрана и Алпа, показује тенденцију развоја ка истоку. Такође се јасно може уочити поље релативно ниског ваздушног притиска над Србијом. Распоред поља високог и ниског ваздушног притиска, као и положај фронталне линије указивали су на постојање могућности развоја невремена на нашем простору.

Према Stevančević M., et al, (2006) са дубљим продором ка тлу, долази до слабљења кинетичке енергије Сунчевог ветра, услед трења са гушћим слојевима ваздуха. У таквим околностима јавља се слабљење магнетног омотача основног млаза и одвајања појединих периферних и слабијих снопова. Управо та одвајања се доводе у везу са генезом тромбе. Међутим, сепартно раслојавање главног млаза представља понуђено објашњење, које је у овом тренутку тешко доказати. За сада се може констатовати да и у случају тромбе код Инђије постоји каузалност између процеса на Сунцу и регионалног развоја временских стања.





Ск. 4. Облачни системи над Европом 06. јуна 2008. године

Ако покушамо критички да се осврнемо на изложене резултате, чини се да су понуђена објашњења, макар у домену хипотезе која се разматра, у извесној предности у односу на савремена достигнућа. Да се проучавања ове врсте налазе на граничном подручју науке потврђују и Lilensten J., Bornarel J., (2006). Према овим ауторима „феномен који омогућује високоенергетским честицама да уђу у магнетосферу још увек није разумљив. Отварање на дневној страни, када Сунчево магнетно поље мења правац је само модел, теорија која боље стоји од других у односу на чињенице. Наше знање везано за порозност магнетног зида Земље, при судару у зони риконекције на ноћној страни је релативно слабо.”

У том смислу није на одмет споменути да су Gomes J. F. P., Radovanovic M., (2008), колико је познато, по први пут у научним радовима понудили објашњење да су вртложна кретања ваздушних маса у тропским областима, такође последица продора Сунчевог ветра у дубље слојеве тропосфере. За разлику од риконекције, у тропима високоенергетске честице захватају ваздушне масе изнад геомагнетних аномалија, односно над областима где је магнетно поље Земље најслабије. У зависности од кинетичке енергије Сунчевог ветра, као и од упадног угла, зависиће и до којих ће области доспети покренуте ваздушне масе. Постоје индикације да се нпр. појава врућих таласа у средњој Европи дешава под оваквим условима. Прелиминарни резултати указују да се таква врста развоја временских стања може одразити на временске прилике и у Србији.

У уводном делу рада је било речи о мањкавостима везаним за недостатак мерења за конкретне случајеве тромби. У овом примеру, који се десио код Инђије, не само да се не располаже квантитативним подацима, већ он није званично ни потврђен. Раније споменути Анђелковић Г., (2009) са резервом констатује да се приближно сваке треће године код нас може појавити овај вид вртложног кретања ваздушних



маса. Дакле, мини торнада код нас нису тако чести фактори ризика и потенцијална опасност за имовину и људске жртве, као што је то случај у неким другим деловима света. Међутим, то не значи да рад на њиховом разумевању треба запоставити и игнорисати. Савремен приступ који се односи на потенцијално утврђивање везе између процеса на Сунцу и тромби, носи у себи елементе који захтевају истраживање пројектног типа са укључивањем стручњака из различитих научних области.

### Закључак

Може се констатовати да су тромбе ретка појава на простору Србије и да као и у већини других случајева у Европи имају релативно кратко време трајања. Трајекторије њихових кретања су такође знатно мање у односу на нпр. торнада. Насупрот њиховој просторној и временској ограничениости, штете које изазивају могу бити знатне. У новијој историји није познато да су у нашој држави проузроковали људске жртве. Достигнућа у области научних резултата су ипак ограничена у погледу прогностичких симулација.

Полазећи од резултата досадашњих истраживања у раду су испитане потенцијалне узрочно-последичне везе између процеса на Сунцу и појаве тромбе код Индјије 06. јуна 2008. године. Показало се да на регионалном нивоу постоје основе за довеђење у везу између наведених процеса. У прилог оправданости хелицентричне хипотезе о настанку циклоналних кретања говоре и добијени статистички резултати али на глобалном нивоу. Међутим, на локалном нивоу, према расположивим сателитским мерењима, као и теоријским сазнањима, није могуће доказати на који начин долази до одвајања мањих снопова Сунчевог ветра од главног млаза. Овакво тумачење представља могуће потенцијално објашњење развоја тромбе, али је за наведени приступ неопходна разрада модела који би могао сугерисати када и где би до циклоналних кретања овог типа могло доћи.

### Литература

- Анђелковић, Г. (2009). *Екстремне климатске појаве у Србији*. Београд: Географски факултет, докторска дисертација
- Душић, В., Танасијевић, З. (1993). Појава тромбе у ваљевском крају. *Гласник Српског географског друштва* 73(1), 25-32.
- Elsner, B. J., Kavvakov, P. S. (2001). Hurricane intensity changes associated with geomagnetic variation. *Atmospheric Science Letters*, doi:10.1006/asle.2001.0040.
- Giaiotti, B. D., Giovannoni, M., Pucillo, A., Stel, F. (2007). The climatology of tornadoes and waterspouts in Italy. *Atmospheric Research*, 83, p. 534-541.
- Giorgieva, K., Kirov, B., Tonev, P., Guineva, V., Atanasov, D. (2007). Long-term variations in the correlation between NAO and solar activity: The importance of north-south solar activity asymmetry for atmospheric circulation. *Advances in Space Research*, 40, p. 1152-1166.
- Gomes, J. F. P., Radovanovic, M. (2008). Solar activity as a possible cause of large forest fires — a case study: Analysis of the Portuguese forest fires. *Science of the total environment*, Vol. 394, No 1, p. 197 – 205.
- Kniveton, D. R., Tinsley, B. A., Burns, G. B., Bering, E. A., Troshichev, O. A. (2008). Variations in global cloud cover and the fair weather vertical electric field. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 70, p. 1633-1642.
- Leitão, P. (2003). Tornadoes in Portugal. *Atmospheric Research* 67- 68, p. 381- 390.
- Lilensten, J., Bornarel, J. (2006). *Space Weather, Environment and Societies*, Springer Ltd.
- Love, G. B. (2006). Statement on Tropical Cyclones and Climate Change. Prepared by the WMO/CAS Tropical Meteorology Research Program, Steering Committee for Project TC-2: Scientific Assessment of Climate Change Effects on Tropical Cyclones. Submitted to CAS-XIV under Agenda Item 7.3.
- Markowski, M. P., Richardson, P. Y. (2009). Tornadogenesis: Our current understanding, forecasting considerations, and questions to guide future research. *Atmospheric Research* 93, p. 3-10.
- Meloni, P., De Michelis, A., Tozzi, R. (2005). Geomagnetic storms, dependence on solar and interplanetary phenomena: a review. *Memorie della Società Astronomica Italiana*, Vol. 76 n. 4, MontePorzio Catone, June 27-July 1, 2005, p. 882-887.

- Миловановић, Б., Радовановић, М. (2009). Повезаност Сунчеве активности и циркулације атмосфере периоду 1891-2004. *Зборник радова Географског института Јован Цвијић САНУ*, бр. 59/1, стр. 35-46.
- Radovanović, M., Stevančević, M., Štrbac, D. (2003). A contribution to the study of the influence of the energy of solar wind upon the atmospheric processes. *Zbornik radova Geografskog instituta Jovan Cvijić SANU*, бр. 52, стр. 1-18.
- Radovanović, M., Lukić, V., Todorović, N. (2005). Helicentric electromagnetic long-term weather forecast and its applicable significance. *Zbornik radova Geografskog instituta Jovan Cvijić SANU*, бр. 54, п. 5-18.
- Радовановић, М., Миловановић, Б. (2009). Прилог проучавању генезе циклона (рукопис).
- Radovanović, M., Gomes, J.F.P. (2009). *Solar Activity and Forest Fires*. New York: Nova Science Publishers
- Schielicke, L., Névir, P. (2009). On the theory of intensity distributions of tornadoes and other low pressure systems. *Atmospheric Research* 93, p. 11–20.
- Stevančević, M., Radovanović, M., Štrbac, D. (2006). Solar Wind and the Magnetospheric Door as Factor of Atmospheric Processes. Second International Conference “Global Changes and New Challenges of 21st Century”, 22-23 April 2005. Sofia, Bulgaria, p. 88-94.
- Suparta, W, Rashid Z. A. A, Ali M. A. M, Yatim B, Fraser G. J. (2008). Observations of Antarctic precipitable water vapor and its response to the solar activity based on GPS sensing. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 70, 1419–1447.
- Tinsley, A. B, Yu F. (2004). Atmospheric Ionization and Clouds as Links between Solar Activity and Climate. AGU monograph: Solar Variability and Its Effects on the Earth's Atmospheric and Climate System. AGU press, Washington, DC, p. 321-340, ([http://www.utdallas.edu/physics/pdf/Atmos\\_060302.pdf](http://www.utdallas.edu/physics/pdf/Atmos_060302.pdf)).
- Troshichev, O. A, Janzhura A. (2004). Temperature alterations on the Antarctic ice sheet initiated by the disturbed solar wind. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 66, 1159–1172.
- Troshichev O, Egorova L, Janzhura A, Vovk V. (2005). Influence of the disturbed solar wind on atmospheric processes in Antarctica and El Nino-Southern Oscillation (ENSO). *Mem. Soc. Astron. Ital.* 76, 890–898.
- Tyrrell, J. (2007). Winter tornadoes in Ireland: The case of the Athlone tornado of 12 January 2004. *Atmospheric research*, 83, p. 242-253.
- Vermette, S. (2007). Storms of tropical origin: a climatology for New York State, USA (1851–2005). *Natural Hazards*, 42, p. 91–103.
- Veretenenko, S., Thejll, P. (2004). Effects of energetic solar proton events on the cyclone development in the North Atlantic. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 66, p. 393–405.
- Von Storch, H., Zwiers F. W. (1999). *Statistical analysis in climate research*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Wheeler, D. (2001). A verification of UK gale forecasts by the ‘solar weather technique’: October 1995–September 1997. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 63, Issue 1 p. 29-34.

MILAN RADOVANOVIC\*

## WATERSPOUT NEAR INDJIJA-THE ANALYSIS OF THE CASE FROM 6<sup>TH</sup> June 2008

**Abstract:** The spinning movements of air masses represent extremely rare phenomenon in the area of Serbia. Even though mini tornados<sup>1)</sup> are characterised by much weaker cyclonic movements of air masses than tornados for example, their destructive power can cause considerable damage and represent the significant factor of risk for casualties. Modern scientific researches are characterised by the impossibility of making the precise prognostic models on the basis of which it would be possible to predict when and where not only the mini tornados are going to appear, but also the more intensive phenomena such as tropical depressions, storms, hurricanes, etc. Considering that in the last years there were many papers published with the evidences on the link between the processes on the Sun and atmospheric disturbances, the arguments by which it could be pointed to such feedback were presented in this paper. The potential causality was examined on the basis of the analysis of astrophysical parameters. By the use of Mann-Whitney U test on daily data for the period from 2004 to 2007, it turned out that there was a significant link between some variables, i.e. indexes of the solar activity and disturbances in the atmosphere. Moreover, the calculations used by Wilcoxon test spoke in favour of the obtained results.

**Key words:** mini tornado, astrophysical predispositions, Indjija (Serbia).

### Introduction

Waterspout i.e. mini tornados are very rare occurrences in our regions. They spread over relatively small areas and they are most often limited on the time period of several hours. Citing Radosavljevic M., (1978) Andjelkovic G. (2009) emphasizes that the first case of waterspout in Serbia, which is scientifically described in details, happened on 10<sup>th</sup> July in 1977 at Nova Varos. Ducic V. and Tanasijevic Z.,(1978) give detailed review of the waterspout which appeared on 10<sup>th</sup> July 1992 in the districts of the villages Paune and Rajkovic near Valjevo. Other cases have been connected to the statements of the eyewitnesses and /or in the media. According to the available knowledge the only accessible photography of the active waterspout on the area of Serbia refers to the case from 6<sup>th</sup> June 2008 (picture 1) which happened in the vicinity of Indjija (about 45° 03' of north latitude, 20° 06' of east longitude, 100m of altitude).

#### Picture 1. Waterspout near Indjija, 6<sup>th</sup> June, 2008

Studying this problem on the territory of Portugal, Leitão P., (2003) considers that probability for monitoring them on the meteorological stations is small, because they occur on the relatively limited area and, as a rule, on the significant distance from the monitoring places. Tyrrell J.,(2007), who analyzed the case in Ireland from 12<sup>th</sup> January 2004, also emphasizes the lack of detailed parameterization for such cases. However, their sudden occurrence presents particular problem, especially for medium and long-range weather forecasts. Love G. B., (2006) concludes that the lack of cyclogenesis and their trajectories also depend on the phenomena such as ENSO<sup>2)</sup>, which still cannot be anticipated.

---

\* **Milan Radovanovic, PhD**, The Geographic Institute "Jovan Cvijic", SASA, Belgrad, milan@net.yu

The paper presents the result of engagement on the project 146011 which is financed by the Ministry of Science and Technologic Development of the Republic of Serbia.

<sup>1)</sup> Mini tornado on Serbian means tromba or pijavica

<sup>2)</sup> El Nino-Southern Oscillation

Markowski M. P., Richardson P. Y., (2009) also consider that the tornado genesis remains without adequate knowledge.

In recent years there have been lots of studies in which the connection between the processes on the Sun and certain climatologic elements have been researched. Studying storms in Britain, Wheeler D., (2001) has relied on the general aspects of the procedure which P. Corbyn used. These aspects were based on the variations of the Sun behavior, its magnetic field, coronary eruptions and fluctuating character of the solar wind. The result of this was accurate forecast of four out of five strong storms in the period from October 1995 to September 1997. The fifth one had a mistake of 48 hours, but this mistake (viewed from the aspect of the methods which were just in progress at that time) can be considered as marginal, simply because the forecast was made many months earlier. As we know, the above mentioned Corbyn did not publish his methods because they would be used for commercial purposes. Troshichev O. A., Janzhura A., (2004), Troshichev O. A., et al, (2005) have proved direct connection between the air temperature and the intervals of modification, i.e. the gustiness of the solar wind. According to these authors, the disturbance in the fluctuation of the solar wind causes the changes in the atmospheric electric field, resulting in the alterations of the cloudiness of troposphere, atmospheric radiation budget and dynamics. Georgieva K., et al, (2007) have come to the conclusion that long-periodic correlation between the solar activity and the atmospheric circulation changes in the consecutive solar secular cycles and it depends on the north-south asymmetry. When the north Sun hemisphere is more active, the increasing activity causes the decrease of the dominance of the zonal circulation forms in the Earth atmosphere and vice versa. The authors also explain cause and effect connections between the solar electro-magnetic radiations, the solar corpuscular radiation, coronary mass ejection, magnetic clouds and the solar wind on one side and general atmospheric circulation on the other side. The conclusions that Suparta W., et al, (2008), Kniveton D. R., et al, (2008) have made are also in accordance with the aforementioned authors. On the basis of the available data, applying complex linear regression, Milanovic B., Radovanovic M., (2009) tested the connection between solar activity and atmospheric circulation. The values for  $R^2$  were calculated from 0,572-0,825.

Without entering into the discussion if and in which way possible anthropogenic activity can cause the disturbance or the formation of cyclones, Vermette S., (2007) can be mentioned. He says that as long as the number and the time of tropic origin storms seem to be increasing, this increase can be ascribed to the multi-decade cycle, which is contrary to the trend of global warming.

### **Statistic analysis of the data and the results**

A test of possible connection between the changes on solar activity and atmospheric disturbances on the global level was carried out, taking into consideration the shown results and applying appropriate statistic procedures (Radovanovic M., Milovanovic B., 2009). In that sense, the daily data on solar activity were used in the period from 2004 to 2007 (<http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse.html>) and the daily data on cyclones (From depressions to hurricanes) (<http://cimss.ssec.wisc.edu/tropic2/tropic.php?&testie6=1>). With the graphic test of the variable distribution with which solar activity is presented, it was established that none of them had normal distribution. Therefore, Mann-Whitney's U- test was used as a test of the significance of the value difference of these variables in the days when there is a certain disturbance of atmosphere and in the days when there is not such a disturbance. (von Storch H., Zwiers F. W., 1999).

It appeared that at variables 1 MeV protons, 0.6 MeV electrons and 2 MeV electrons there is statistically significant difference, in other words, solar activity presented with these variables is significantly higher in the days with atmospheric disturbance than in the days when these disturbances are not registered. (table 1)

If we suppose that high-energy particles can be connected to the formation of waterspout or any other form of the cyclonal movement of the air mass, than it is necessary to consider the existence of certain time difference between the moments when the inflow of the protons and/or electrons occurs and the formation of the disturbance. For that purpose the design of the superposed epochs was applied, in which, considering that these are statistically depended data (time series), Wilcoxon's test was used. The chosen level of significance for which has been established to show statistically important difference is  $p < 0,1$ . It turned out that statistically important difference among certain days occurs only on protons. When 100 MeV protons are observed, the significant difference appears only between the day before the disturbance and the second day after the disturbance. With the protons in energetic range of 10 MeV there is significant difference between the second and the first day before the disturbance, as well as between the day in which the disturbance happens and the day after it. When 1 MeV protons are observed, there is significant difference between the second day before the atmospheric disturbance and the next three days (that is a day before the disturbance, the day of the disturbance and the day after ).

### **The analysis of astrophysical and meteorological conditions during the waterspout near Indjija**

The arguments which suggest causality in theoretic sense as well as in some actual cases have been emphasized several times while studying hypothetical possibility of connection between the processes on the Sun and atmospheric processes. (Radovanović M., et al., 2003, Radovanović M., et al., 2005, Gomes J. F. P., Radovanovic M., 2008, Radovanović M., Gomes J.F.P., 2009). On the basis of the received data it can be concluded that immediately before the formation of cyclonic activity the source of corpuscular energy on the Sun in geoeffective position has to exist in the form of coronal hole and/or energetic region. Such situation was in the case of the waterspout in Indjija. (figure 1)

The emission of energy from geo-effective position presents special problem in the context of development of forecast models. The geometry of the ejection of certain jets of the solar wind, from case to case, is characterized with different dispersion, i.e. dispersion of the particles in space, so that even under the assumption of even dynamics, that is decreased gustiness, the possibilities for the quantitative consideration of the distribution of energy through atmosphere are limited. Meloni P., et al., (2005) also emphasize the importance of non stagnation of geo-effective position.

Developing theoretic foundation of the influence of the solar wind on the movement of air masses Stevančević M., et al., (2006) emphasize that reconnection presents one of the crucial factors of development of the weather conditions. Reconnection means the connection of interplanetary magnetic field and the Earth magnetic field and this in the situations when the resulting vector of interplanetary magnetic field is negative. ( $-\mathbf{Bz}$ ). The authors emphasize the necessity for detailed statistic parameterization which would provide the foundation for proving and development of model, on the basis of which would be possible to confirm or dispute the assumption that in such conditions the solar wind with the hydrodynamic pressure grasps and moves air masse. Indirect indicator, which also confirms possible connection, is Kp index. Elsner B. J., Kavlačkov P, S., (2001) conclude that the possibility for stronger hurricanes is bigger if Kp index is higher.

**Figure. 1. The position of coronal holes and energetic source on the Sun a day before waterspout occurrence in Indjija**

Schielicke L., Névir P., (2009) also point at the potential possibility of the external influence. According to them, in the case of atmospheric depressions the imbalance is represented with the disturbance of the hydrostatic balance.

According to the source<sup>3)</sup> from which figure 2 has been taken, the maximum velocity of protons was about 450 km/s, while the maximum density of particles was 22 protons/cm<sup>3</sup>. It is important to emphasize that during the morning hours there was sudden increase of the density and the velocity of the particles. From this point of view, it can be supposed that the photograph of waterspout in Indjija was taken in the afternoon. It is also necessary to emphasize the irregularity or pulsing of both the velocity and the density of particles. In relation to this, Veretenenko S., Thejll P., (2004) also conclude that the analyses of synoptic charts show that deepening of the cyclones, correlated with the solar high-energy particles, can be taken into consideration for the regeneration of cyclones. Monitored intensification of the regenerated cyclones in the vicinity of Greenland suggests that high-energy particles create conditions which contribute to these processes. It is assumed that for this reason the behavior of tornado in certain parts of the world shows different characteristics but the cause for these differences, according to Giaiotti B. D. et al., (2007), has not been known yet.

**Figure 2. The velocity and density of protons from 5<sup>th</sup>-7<sup>th</sup> June in 2008**

The data on protons and electrons few days before and after the occurrence of waterspout are shown in table 2, considering the fact that the examined parameters may be accidental coincidence.

**Table2. The flow of protons and electrons few days before and after the occurrence of waterspout near Indjija**

On the basis of the shown data it can be seen that there was only “slight” increase of 10 MeV protons immediately before the occurrence of the studied waterspout. Therefore, it can be concluded that potential causality can be ascribed to the increase of velocity, density and the increase of protons in energetic range from 10 MeV. According to Tinsley A. B., Yu F., (2004)” there has not been any decisive result which would discern how many of the monitored decade variations was formed because of the entry of the flux of particles, comparing to the total or spectral changes of radiation.”. However, there is not such ambiguity concerning the correlation of the atmospheric dynamics with particle flows on the weather scale day after day.”

If we take into consideration that the development of the weather conditions above any part of Serbia cannot be monitored separately from the regional atmospheric processes, the review of the air mass movement of wider surroundings has been given in the figures 3 and 4.

**Figure 3. Synoptic situation on 6<sup>th</sup> June 2008 above Europe**

It can be seen from the previous figure that in the middle Europe, during noon, frontal diffusion was expressed, coming from the north. In that way it is theoretically possible to connect the reconnection with the penetration of air masses from the Sub Polar Regions. The eastern part of frontal line, in the area of the north Adriatic and the Alps, shows the eastward development tendency. Also, the field of relatively low air pressure can be clearly noticed above Serbia. The distribution of the fields of high and low air pressure,

---

<sup>3)</sup> The data were measured on 1.5 million km from the Earth



as well as the position of frontal line, indicated the presence of possible development of stormy weather in our region.

According to Stevančević M., et al, (2006) with deeper penetration towards the ground, kinetic energy of the solar wind decreases because of the friction with the thicker air layers. In such conditions magnetic shell of the main jet weakens and some peripheral and weaker beams separate. Exactly these separations are connected to the waterspout genesis. However, separate division of the main jet into layers is offered explanation, which is currently hard to prove. For the time being it can be concluded that in the case of waterspout near Indjija there is causality between the processes on the Sun and the regional development of weather conditions.

**Figure 4. The cloud system above Europe on 6<sup>th</sup> June 2008.**

If we try to give a review of the shown results, it seems that the offered explanations, at least in the domain of hypothesis that has been observed, have certain advantage in relation to the contemporary achievements. Lilensten J., Bornarel J., (2006) confirm that the studies of this kind are in the marginal field of science. According to these authors, "a phenomenon which enables high-energy particles to enter the magnetosphere has not been clear yet. Opening on the right side, when the solar magnetic field changes its direction is only a model, a theory which is better than the others in relation to the facts." Our knowledge connected to the porosity of magnetic wall of the Earth, at the collision in the zone of reconnection on the night side, is relatively weak."

Accordingly, it may turn out to be useful to mention that Gomes J. F. P., Radovanovic M., (2008), as it is familiar, for the first time in the scientific study have offered explanation that whirling movements of air masses in tropic regions are also the consequence of the penetration of the solar wind in the deeper layers of troposphere. Contrary to the reconnection, in tropical regions high energy particles grasp the air masses above geomagnetic anomalies, that is above the areas where the Earth magnetic field is the weakest. The areas which moved air masses will reach depend on the kinetic energy of the solar wind as well as on the incidence angle. There are some indications that for example the occurrence of hot waves in the middle Europe happens under such conditions. The preliminary results indicate that this kind of development of the weather conditions can reflect on the weather conditions in Serbia as well.

In the introduction part of the paper there has been a word on the drawbacks connected to the lack of measurements for the actual cases of waterspouts. In the example, which happened near Indjija, not only that there were no quantitative data, but the case was not even officially confirmed. The aforementioned Andjelkovic G., (2009) concludes, with a hesitation, that almost every three years this kind of whirling movement of air masses can occur in our regions. Therefore, mini tornados in our region are not so frequent risk factors and potential danger for the property and casualties as it is a case in some other parts of the world. However, it does not mean that we should neglect and ignore them. The contemporary approach which refers to the potential establishment of the connection between the processes on the Sun and waterspouts carries in itself the elements which demand the project- type research including the experts from different scientific fields.

## **Conclusion**

It can be concluded that waterspouts are rare occurrences on the area of Serbia and that, as in majority of other cases in Europe, they have relatively short duration time. The trajectories of their movements are also considerably smaller in relation to, for example, tornados. Contrary to their spatial and time limitation, the damages they can cause can be

significant. In recent history there has not been any data on casualties in our country. The achievements in the field of scientific results are still limited in terms of forecasting simulations

Starting from the results of the recent researches, some potential cause and effect connections between the processes on the Sun and the occurrences of waterspout on 6<sup>th</sup> June 2008 near Indjija have been examined in the paper. It appeared that on the regional level, there is foundation for connection between the above mentioned processes. The received statistic results go in favour of the justification of the heliocentric hypothesis on the formation of cyclonic movements, but only on global level. However, on the local level, according to the available satellite measurement, as well as theoretic knowledge, it is not possible to prove the way in which smaller beams of solar wind separate from the main jet. This explanation presents possible potential clarification of the waterspout development, but for the abovementioned approach it is necessary to develop a model which could suggest when and where the cyclonic movement of this type may happen.

### **References**

See references on page 303