

# **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

На VIII редовној седници Изборног и Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду одржаној 30. маја 2018. године одређени смо за чланове Комисије за припрему извештаја о докторској дисертацији „**NUMERICAL MODELLING OF WARM AND COLD TYPE RAIN MODIFICATION**“ (Моделовање модификације падавина топлог и хладног типа) из научне области **МЕТЕОРОЛОГИЈА**, коју је кандидат **МИЛОШ ЛОМПАР** предао Физичком факултету у Београду 16. априла 2018. године. После прегледа дисертације подносимо следећи

## **РЕФЕРАТ**

### **1 ОСНОВНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ**

#### **1.1 Биографски подаци**

Милош Ломпар је рођен 20. марта 1987. године у Суботици где завршава основну школу и средњу школу Гимназију „Светозар Марковић“. На основним студијама Физичког факултета добија награду из фонда „Боривоје Добриловић“ Светске метеоролошке организације. Основне студије завршава 2010. године са просечном оценом 9,58. Мастер студије завршава наредне године са просечном оценом 10. Од 2011. године ради као

дипломирани метеоролог у Републичком Хидрометеоролошком Заводу Србије, а истовремено уписује докторске студије на Физичком факултету у Београду из области метеорологије.

## **1.2 Научна активност**

Област истраживања Милоша Ломпара је Физика облака. Уже области истраживања су му: динамика облака, микрофизика облака, модификовање животног циклуса облака и падавина под утицајем засејавања, нумеричко моделовање атмосферских процеса облачних размера, атмосферски аеросоли. Све наведене уже области истраживања заступљене су у израђеној докторској дисертацији. Кандидат има 5 публикација у међународним часописима са импакт фактором већим од 0,5. Радови укупно имају 36 цитата.

## **2 ОПИС ПРЕДАТЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### **2.1 Основни подаци**

Руководилац ове докторске дисертације је проф. др Млађен Турић, редовни професор у пензији Физичког факултета Универзитета у Београду. Бави се научно-истраживачким радом, првенствено из области динамике атмосфере, физике облака и модификације времена. Аутор је преко 200 научних радова, објављених углавном у признатим међународним часописима. Објавио је и већи број стручних радова. Руководио је израдом неколико десетина дипломских радова, више магистарских и докторских теза. Најважнији сарадници су му: др Дејан Јанц, др Златко Вуковић, др Владан Вучковић, др Драгана Вујовић, др Владо Спиридонов, др Ђорђе Романић и кандидат Милош Ломпар. Испуњава услове за ментора.

Докторска дисертација “Numerical Modelling of Warm and Cold Type Rain Modification” написана је на 121 страни текста (не рачунајући додатке), са 3 табеле и 51 сликом. Поред резимеа на енглеском и српском језику, докторску дисертацију чини шест поглавља и списак литературе: INTRODUCTION (стр. 1-6), LITERATURE REVIEW (стр. 7-16), IMPROVEMENTS TO WRF-ARW/MCSE MODEL AND CAPABILITIES OF RECENT MODELS (стр. 17-65), METHODOLOGY (стр. 66-76), RESULTS (стр. 77-97), CONCLUSION

(стр. 98-105), REFERENCES (стр. 106-121). Списак литературе садржи 169 референци. Докторска дисертација је написана на енглеском језику.

Уводно поглавље садржи опис моделовања облачних процеса употребом двоментне микрофизичке шеме у коју се уграђује реагенс, мотивацију кандидата за дато истраживање, циљеве рада, као и организацију докторске дисертације. Поред претходно наведеног, уводно поглавље такође представља и очекиване доприносе докторске дисертације науци и привреди (нпр. еколошки прихватљиво обезбеђивање пијаће воде).

Друго поглавље докторске дисертације садржи детаљан преглед литературе на тему моделовања модификације падавина. Прво, кандидат представља детаљан опис основних динамичких процеса облака са посебним освртом на олујни фронт. Друго, ово поглавље уводи читаоца у проблем моделовања атмосферских аеросола и приказује преглед значајне литературе из ове области. Треће, кандидат Милош Ломпар даје врло детаљан преглед досадашње литературе на тему модификације времена и засејавања облачне средине као и приказ новог материјала који може да се користи као реагенс за стимулисање падавина. Преглед овог дела литературе је дат у хронолошком редоследу почевши од првих радова на тему модификације времена до најновијих истраживања. Последња секција у овом поглављу представља сажетак прегледа литературе.

У трећем поглављу приказан је метод који побољшава динамичке карактеристике нумеричког модела увођењем нове параметризације олујног фронта. Детаљно је изложен поступак параметризације, као и резултати добијени симулацијом идеализованог суперћелијског облака, као и реалне конвекције изнад УАЕ при условима укључене параметризије у (WRF – Weather Research and Forecasting) моделу. Такође, испитане су могућности (WRF) модела да симулира утицај природних аеросола као језгара нуклеације на процес формирања падавина.

У четвртом поглављу изложена је методологија моделовања новог реагенса са циљем стимулисања падавина. Приказан је развој једнодимензионог модела за засејавање облака (1D MCSE Model for Cloud Seeding Experiments), као и поставка основних експеримената. Даље је приказан поступак уградње 1D MCSE модела у WRF модел (3D MCSE), као и поставка експеримената за 3D модел.

У петом поглављу кандидат представља резултате добијене употребом модела који су развијени за потребе ових студија. Приказани су резултати нумеричког моделовања

процеса стимулисања падавина при различитим условима засејане средине и за различите просторно-временске прозоре. Указује се на предности употребе новопроизведеног реагенса у односу на со, које су видљиве у свим нумеричким експериментима урађеним са 1D MCSE и 3D MCSE моделима. Приказана је детаљна анализа утицаја процеса засејавања на падавине при тлу, као и на саме процесе у облаку. Кандидат приказује детаљну анализу утицаја засејавања на микрофизичке процесе као и на опште динамичке карактеристике облачне средине.

Последње поглавље представља сажетак резултата и закључке докторске дисертације. Предлози за даље истраживање су такође наведени у овом поглављу.

На крају је дат списак литературе коришћене за израду ове дисертације у алфавитном реду.

## 2.2 Предмет и циљ рада

Област истраживања којој припада израђена дисертација је *Метеорологија*, а подобласт је *Физика облака*.

Нумеричко моделовање модификације падавина је научни поступак који омогућава боље разумевање процеса настајања падавина као и њиховог мењања за потребе савременог друштва. Велики број студија и истраживања из ове области описује различите начине нумеричког моделовања постојећих материјала за потребе стимулисања падавина.

Циљ дисертације Милоша Ломпара био је разумевање утицаја природних и вештачких аеросола на формирање падавина у облацима са топлим и хладним падавинама, као и испитивање могућности употребе нумеричког модела за истраживање ефикасности модификације падавина применом новог вештачког аеросола. Коришћени су лабораторијски резултати доступни за нови материјал како би се препознала предност употребе новог материјала у односу на материјал који се уобичајено користи као реагенс за стимулисање падавина. Важан корак у овом поступку је уградња аеросола у микрофизички модул, и модификација постојеће дво-моментне микрофизичке шеме, у погледу укључивања утицаја аеросола на микрофизичке процесе.

Дакле, теза поред теоријског значаја за физику облака и модификацију времена има и практичне примене. Циљеви ове докторске дисертације су:

- Побољшавање постојећих модела за потребе поступка моделовања модификације падавина
- Испитивање могућности постојећих модела да симулирају утицај природних аеросола на формирање падавина
- Развој једнодимензионог модела као алата за испитивање утицаја новог реагенса на стимулисање падавина
- Уградња новог реагенса као вештачког аеросола у постојећи микрофизички модул и развој модела способних да симулирају процес засејавања облака
- Испитивање могућности новог реагенса да стимулише падавине у односу на реагенс који се обично користи и одређивање услова при којима засејавање даје најбоље резултате

### 2.3 Публикације

Из истраживања у оквиру израђене дисертације проистекла су 3 рада објављена у међународним часописима са импакт фактором преко 1,5:

**Lompar, M., Ćurić, M., Romanic, D., 2017.** Simulation of a severe convective storm using a numerical model with explicitly incorporated aerosols. *Atmospheric Res.* 194, 164–177. doi:10.1016/j.atmosres.2017.04.037 (Категорија часописа је **M21**, импакт фактор је 3.753)

**Lompar, M., Ćurić, M., Romanic, D., 2018.** Implementation of a gust front head collapse scheme in the WRF numerical model. *Atmos. Res.* 203, 231–245. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.12.018>. (Категорија часописа је **M21**, импакт фактор је 3.753)

**Lompar M., Ćurić M., Romanic Dj., Zou L., Liang H., 2018.** Precipitation enhancement by cloud seeding using the shell structured TiO<sub>2</sub>/NaCl aerosol as revealed by new model for cloud seeding experiments. *Atmospheric Research*, doi:10.1016/j.atmosres.2018.05.021: (Категорија часописа је **M21**, импакт фактор је 3.753)

### 2.4 Преглед научних резултата изложених у дисертацији

Истраживање је текло у неколико праваца:

- Испитивање могућности постојећих модела

- Побољшавање постојећег модела развојем нове параметризације олујног фронта
  - Испитивање могућности постојећег модела да симулира карактеристике олујног фронта
  - Развој нове методологије параметрисања олујног фронта поступком форсирања вертикалне брзине испред облака у правцу кретања облака
  - Извођење експеримената и поређење утицаја параметризације олујног фронта на развој облака, на динамичке и микрофизичке карактеристике облака као и на процес формирања падавина
- Испитивање могућности постојећих модела да симулирају утицај природних аеросола на микрофизичке процесе:
  - Испитивање природних аеросола који могу да служе као кондензациона језгра
  - Испитивање природних аеросола који могу да служе као језгра за нуклеацију ледених кристала
  - Испитивање утицаја природних аеросола на мезоразмерни конвективни систем за случај стварне синоптичке ситуације
  - Поређење резултата добијених у експерименту са имплицитно укљученим природним аеросолима и резултата добијених у експерименту са експлицитно укљученим природним аеросолима
- Развој 1D модела за засејавање облак (1D MCSE):
  - Повезивање динамичког језгра постојећег једнодимензионог модела Ćurić и Janc (1990) и Ćurić и Janc (1993a) са микрофизичком шемом Thompson and Eidhammer (2014)
  - Уградња реагенса у микрофизичку шему по узору на природне аеросоле и израда унапред израчунатих табела активације новог реагенса помоћу нултодимензионог модела облачног делића (први метод)
  - Уградња реагенса у микрофизичку шему применом једначине дифузионог раста конструисане на основу лабораторијских мерења
- Развој 3D модела за засејавање облак (3D MCSE)
- Испитивање могућности примене новопроизведеног реагенса помоћу 1D MCSE и 3D MCSE модела

## 2.4.1 ДЕО 1

### Радови: [A1]

У овом раду идентификоване су основне карактеристике олујног фронта. Уведена је нова параметризација олујног фронта у WRF моделу која се базира на форсирању верикалне брзине испред облака у правцу кретања облака. Анализиран је утицај таквог форсирања на идеализован облак у погледу динамичких карактеристика. Упоредени су резултати модела без параметризације и модела са новом параметризацијом. Закључено је да се као последица параметризације олујног фронта, формирају нове облачне ћелије испред облака, као и да постоји ширење падавинске зоне и повећање падавина.

Нова шема за параметризацију испитана је и за случај непогоде која се десила изнад УАЕ 17.7.2009. Упоредени су радарски снимци и моделска рефлексивност као и псеудо-сателитски снимци добијени из модела са стварним сателитским снимцима. Утврђено је да се у моделу формира мање конвективне облачности него што је осмотрено. Ипак модел са параметризацијом олујног фронта показује боље резултате у односу на непараметрисани модел. Значајан резултат је да алгоритам за параметризацију олујног фронта добро препознаје олујне облаке и да се форсирање не дешава код стратиформне облачности што се може видети поређењем сателитских и псеудо-сателитских слика.

## 2.4.2 ДЕО 2

### Радови: [A2]

Иако аеросоли представљају важан чинилац у развоју облака, њихов утицај у нумеричким моделима је слабо описан. Овај рад представља детаљну анализу утицаја аеросола на микрофизичке и динамичке процесе у облаку као и на процес формирања падавина за случај мезоразмерног конвективног система који се формирао 21.7.2014. године изнад Чачка и Горњег Милановца. У истраживању су поређени резултати из два нумеричка експеримента са (WRF – Weather Research and Forecasting) моделом. Коришћена је дво-момента микрофизичка шема Thompson and Eidhammer (2014). Први експеримент је аеросоле третирао имплицитно (WRF-AI), док су у другом експерименту аеросоли експлицитно описани (WRF-AE) користећи климатолошке податке о аеросолима. У WRF-AE експерименту модел је тачно прогнозирао транспорт прашине из северних делова

Африке, преко Медитерана на Балканско полуострво. Када се посматра област са најјачим непогодама, у оба модела су облаци измештени ка југоистоку у односу на осмотрене облаке и прогнозиране су слабије радарске рефлексивности од очекиваних. У оба експеримента је прогнозирана већа количина кише у односу на измерену. Код WRF-AE експеримента постоји повећање падавина у области слабих падавина, док је код WRF-AI експеримента дошло до повећања падавинске зоне.

### 2.4.3 ДЕО 3

#### Радови: [А3]

Нови једнодимензиони модел за потребе стимулсања падавина развијен је у овом раду повезивањем динамичког језгра постојећег једнодимензионог модела Ćurić и Janc (1990) и Ćurić и Janc (1993a) са микрофизичком шемом Thompson and Eidhammer (2014) и уградњом новог реагенса у микрофизички модул. Испитана је способност новог реагенса да стимулише падавине. Примењена су два приступа у овом истраживању. У првом приступу формирање облачних капљица на вештачким аеросолима рачунато је помоћу унапред израчунате табеле, која је конструисана користећи нултодимензиони модел облачног делића. Активационе карактеристике новог материјала су описане у зависности од температуре делића, вертикалне брзине, релативне влаге и хемијских карактеристика новог реагенса описаних параметром  $k$ . У другом приступу за прогнозу раста облачних капљица на новопроизведеном аеросолу коришћена је једначина дифузионог раста која је конструисана на основу лабораторијских мерења спроведених у облачној комори. Резултати добијени употребом новог реагенса упоређени су са резултатима добијеним применом соли као и са незасејаном средином (само природни аеросоли су присутни). У свим експериментима нови реагенс је показао боље перформансе у односу на со и формирано је више падавина. Супериорност новог реагенса је најизраженија при релативној влази мањој од 75 %. Анализом просторно-временских прозора показано је да нови реагенс може допринети повећању падавина и до 15 % у односу на со и повећању и до 30% у односу на незасејану средину.

## 3 СПИСАК ПУБЛИКАЦИЈА КАНДИДАТА



#### **A. Радови у водећим међународним часописима са импакт фактором (>0.5)**

[A1] **Lompar, M.**, Ćurić, M., Romanic, D., 2018. Implementation of a gust front head collapse scheme in the WRF numerical model. *Atmos. Res.* 203, 231–245. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.12.018>. (Категорија часописа је **M21**, импакт фактор је **3.753**)

[A2] **Lompar, M.**, Ćurić, M., Romanic, D., 2017. Simulation of a severe convective storm using a numerical model with explicitly incorporated aerosols. *Atmospheric Res.* 194, 164–177. doi:10.1016/j.atmosres.2017.04.037 (Категорија часописа је **M21**, импакт фактор је **3.753**)

[A3] **Lompar M.**, Ćurić M., Romanic Dj., Zou L., Liang H., 2018. Precipitation enhancement by cloud seeding using the shell structured TiO<sub>2</sub>/NaCl aerosol as revealed by new model for cloud seeding experiments. *Atmospheric Research*, doi:10.1016/j.atmosres.2018.05.021: (Категорија часописа је M21, импакт фактор је 3.753)

[A4] Romanić D, Ćurić M, Jovičić I, **Lompar M.** 2015. Long-term trends of the ‘Koshava’ wind during the period 1949–2010. *International Journal of Climatology* 35(2): 288-302. DOI: 10.1002/joc.3981. ISSN: 1097-0088. (Категорија часописа је **M21**, импакт фактор је **3,157**)

[A5] Romanić D, Ćurić M, **Lompar M.**, Jovičić I. 2015. Contributing factors to Koshava wind characteristics. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.4397. ISSN: 1097-0088. (Категорија часописа је **M21**, импакт фактор је **3,157**)

[A6] Romanić D, Ćurić M, Zarić M, **Lompar M.**, Jovičić I. 2015. Investigation of an extreme Koshava wind episode of 30 January–4 February 2014. *Atmospheric Science Letters*. DOI: 10.1002/asl.643. ISSN: 1530-261X. (Категорија часописа је **M22**, импакт фактор је **1,521**)

#### **4 ЦИТАТИ**

Рад А1 цитиран је у:

Huang, Y., Liu, Y., Xu, M., Liu, Y., Pan, L., Wang, H., ... & Wei, X. (2018). Forecasting severe convective storms with WRF-based RTFDDA radar data assimilation in Guangdong, China. *Atmospheric Research*.

Рад А2 цитиран је у:

Tian, J., Liu, J., Yan, D., Li, C., Chu, Z., & Yu, F. (2017). An assimilation test of Doppler radar reflectivity and radial velocity from different height layers in improving the WRF rainfall forecasts. *Atmospheric Research*, 198, 132-144.

Huang, Y., Liu, Y., Xu, M., Liu, Y., Pan, L., Wang, H., ... & Wei, X. (2018). Forecasting severe convective storms with WRF-based RTFDDA radar data assimilation in Guangdong, China. *Atmospheric Research*.

Karacostas, T., Kartsios, S., Pytharoulis, I., Tegoulis, I., & Bampzelis, D. (2017). Observations and modelling of the characteristics of convective activity related to a potential rain enhancement program in central Greece. *Atmospheric Research*.

**Lompar, M., Ćurić, M., Romanic, D., 2018. Implementation of a gust front head collapse scheme in the WRF numerical model. Atmos. Res. 203, 231–245. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.12.018>. (Категорија часописа је **M21**, импакт фактор је **3.753**)**

Рад А4 цитиран је 22 пута.

Рад А5 цитиран је 4 пута.

Рад А6 цитиран је 5 пута.

## **ЗАКЉУЧАК**

На основу изложеног може се закључити да је кандидат **МИЛОШ ЛОМПАР** у докторској дисертацији под називом „**NUMERICAL MODELLING OF WARM AND COLD TYPE RAIN MODIFICATION**“ (**Моделовање модификације падавина топлог и хладног типа**) добио оригиналне научне резултате и дао вредан научни допринос у области **ФИЗИКЕ ОБЛАКА**. Делови тезе кандидата су публиковани у врхунским међународним часописима. Стога сматрамо да овај рад може да буде прихваћен као докторска дисертација и

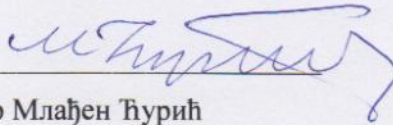
## **ПРЕДЛАЖЕМО**

**ПРЕДЛАЖЕМО**

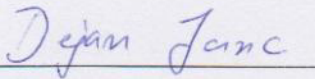
Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да одобри њену јавну одбрану.

Београд, 31. 5. 2018. године

Комисија:



др Млађен Ћурић  
редовни професор у пензији  
Физички факултет, Универзитет у Београду



др Дејан Јанц  
ванредни професор  
Физички факултет, Универзитет у Београду



др Мирјана Румл  
редовни професор  
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду