

## Научен план (описание на проекта)

### Анализ на състоянието на научните изследвания по темата на проекта и актуалност на научната проблематика

Градовете се превръщат в центрове на човешки дейности, защото хората очакват да подобрят качеството си на живот, но обширните урбанизирани райони, от друга страна, са най-големите източници на парникови газове и замърсители на въздуха, като също предизвикват съществена промяна в подложната повърхност. Концентрацията на човешки дейности в градовете води до изменения в топлинния баланс и до емисии, които променят химичния състав на градската атмосфера. Въпреки полаганите усилия през последното десетилетие все още замърсяването с фини прахови частици (ФПЧ) продължава да бъде основен проблем за качеството на въздуха в България и процентът на населението, живеещо при нива на замърсяване над определените норми свързани с човешкото здраве е много висок – 78.6% при 3.3 милиона население, живеещо в населени места, където се контролира този замърсител (ИАОС, 2017).

България има дълголетни традиции в изследването на качеството на въздуха както в регионален, така и в локален мащаб, включително разработване на собствени модели (Ganev, 1981; Ganev&Yordanov, 1981, 1983; Dimitrova, 1997; Atanassov, 2000; Gromkova et al. 2002). През последните две десетилетия е извършена много работа в областта на регионалното моделиране на качеството на въздуха, включително трансгранично замърсяване между България и Гърция (Dimitrova et al. 2000; Ganev et al., 2002, 2003; Zerefos et al. 2004), климат на атмосферното замърсяване за избрана градска среда (Syraikov et al., 2011a, 2012; Gadzhev et al., 2014a, b; Georgieva I. et al., 2015, 2017), изследвана е спецификата на замърсяването на въздуха в Софийското поле (Dimitrova, 2001; Ganev et al., 2004; Syraikov et al. 2013; Georgieva I. et al., 2015, 2017). Публикувани са редица изследвания свързани с разработването и доразвиването на българската система за химическото време (Todorova et al. 2010; Etropoliska et al., 2010; Syraikov et al, 2011a,b, 2013, 2014, 2015 a,b, 2016; Georgieva E. et al., 2014, 2015) и оценка на приноса на различни видове замърсители и различни категории източници (Gadjev et al., 2012). Повечето от по-скорошните публикации се базират на модела за изследване и прогнозиране на времето (WRF; Skamarock et al., 2008), който се подпомага от Националния център за атмосферни изследвания на САЩ и на мулти-мащабната системата за моделиране на качеството на въздуха (CMAQ; Byun&Schere, 2006), която се поддържа от Агенцията за опазване на околната среда на САЩ. Предимствата на тези модели включва възможността за използване на променлива във времето и пространството метеорология и моделиране на химични реакции, но поради използваните параметризации на физическите процеси тези модели имат ограничения на разделителната способност на мрежата (най-фината обикновено е 1 км). Само едно изследване (Petrov, 2019) представя моделиране на замърсяването с азотни оксиди в ограничен район на уличен каньон в гр. София при различни метеорологични условия с Лагранжев дисперсионен модел.

Предишни проучвания свързани с полето на замърсяване в град София (Velizarova&Dimitrova, 2020; Dimitrova&Velizarova, 2021) показват, че замърсяването от транспорта е най-съществения източник в централните градски части на столицата и основен причинител на концентрации над допустимите норми за ФПЧ. Подробно изследване и проверка на влиянието на параметрите на уличния каньон върху локалното замърсяване е от съществено значение за по-детайлното представяне на ефекта на модификация на потока, и оценка на тенденциите за развитието на гр. София през последните 30 години, които са неблагоприятни по отношение на качеството на въздуха. В това отношение могат да бъдат посочени няколко причини като:

- нарастващата плътност и дял на непроницаеми повърхности чрез преминаването от „зелена” към „сива” инфраструктура (Copernicus Land Monitoring Service, 2019)
- връщането към модела на прилепените средни и високи сгради в стари и нови развиващи се райони, водещи до образуването на градски улични каньони, както и
- по-интензивното изграждане на транспортната инфраструктура повишава необходимостта от индивидуални пътувания с автомобили, особено по отношение на предградията и новопостроените офиси и търговски съоръжения близо до южната граница на града, известна със своята важна роля за вентилацията на града чрез така наречените „зелени клинове“.

## Цели на проекта

Основната цел на това проучване е да представи пространствено-времето разпределение на концентрациите на примеси в атмосферата на градска среда, включително модификацията на потока и промените в турбулентността предизвикани от наличието на улични каньони. Използването на подробно пространствено представяне на градската инфраструктура в триизмерни карти може да подобри значително численото моделиране на въздушния поток, предоставяйки детайлната му структура и да помогне за определяне на „горещите точки“ с най-високи нива на замърсяване. Изследването и проверката на влиянието на параметрите на уличния каньон върху локалното замърсяване ще осигури ценен инструмент в полза на градското планиране, за изграждане на устойчива среда в бъдещите проекти за градско развитие. Предложеният проект е интердисциплинарно изследване и изисква знания и умения не само в областта на метеорологията, но и познания свързани с атмосферната химия, дисперсията на замърсителите, инвентаризацията на емисиите, градско планиране за устойчиво развитие и номенклатурата за качеството на въздуха, използване на географски информационни системи (GIS) за описание на градската инфраструктура. Тези допълнителни знания и умения ще бъдат придобити от докторанта по време на изпълнение на поставените задачи в работната програма.

## Описание на изпълнението на проекта

- **Изследователски задачи;**

За осъществяване целите на проекта са предвидени две основни изследователски задачи:

- 1) изследване спецификата на замърсяване в градски уличен/ни каньон/и чрез провеждане на числени експерименти при реални метеорологични условия, което ще допринесе за установяване на пространствено-времето разпределение на основни замърсители от транспорта;
- 2) определяне влиянието на параметрите на избрания градски каньон (ширина и височина на каньона, застрояване на празни пространства) при избрани типични конфигурации на потока върху полето на концентрацията на основни замърсители от транспорта.

Първата задача също ще доведе до оценяване на възможностите на модела да симулира такъв тип задачи, като ще се проведе и анализ на чувствителността на модела към входните данни при избраните реални метеорологични условия. Втората задача ще позволи изготвянето на препоръки за бъдещо градско планиране и устойчиво развитие.

- **Методология;**

Методологията, която ще се използва за постигане на целите на изследването, включва числено моделиране с висока разделителна способност на метеорологичните условия и дисперсията на основни замърсители от транспорта съчетано със статистически анализ/сравнение на числените резултати с експериментални данни, генерирани от наличните оперативни измервателни мрежи. В рамките на проекта ще бъдат проведени числени експерименти с Air Quality Management & Assessment System: ADMS-Urban, която е цялостна система за моделиране качеството на въздуха в големи урбанизирани райони, разработена и поддържана от Cambridge Environmental Research Consultants (CERC, 2020). Този модел включва най-новото научно разбиране за проблема, явно представя пълната гама от видове източници, срещащи се в градски район като промишлени, битови, пътен транспорт и други недобре организирани източници от транспорта (от малките улици в жилищните квартали, които не са представени явно), като взема предвид сложната градска морфология и осигурява резултати от уличен каньон до градски мащаби. Данните от измервания не могат напълно да представят в детайли пространственото разпределение на концентрацията на ФПЧ и газовите замърсители, най-вече защото те са ограничени до определени места и времеви интервали. Следователно експерименталните данни трябва да бъдат допълнени от надеждни числени симулации с висока разделителна способност, за да се получи задоволително представяне на качеството на въздуха в избрани райони на град София. Това ще осигури генерирането на детайлно представяне на основните метеорологични елементи с необходимата пространствена и времева резолюция в целия район на изследване, което не се ограничава до времевия мащаб на наличните експериментални данни. Анализът на тази нова информация ще ни позволи да

проследим мулти-машабния характер на процесите, както и взаимодействието между различни явления и мащаби и да идентифицираме ключовите механизми и пътища за формиране на полето на замърсяване. Планира се и провеждането на различни числени експерименти с промяна в параметрите на избран уличен каньон, които да помогнат за изготвянето на препоръки за бъдещо градско планиране.

- **Видове дейности;**

Предвижда се извършването на значителна по обем работа свързана с подготовката на изчислителната мрежа, метеорологичните условия, емисиите от транспорта за избрания/те район/и, както и детайлното пространствено описание на отделните сегменти от градската инфраструктура. За да се подготвят тези данни е необходимо предварителен анализ на базата данни с налични измервания за качеството на въздуха за да се определи областта на изследване, както и да се изберат подходящи уличен/и каньон/и. Самото описание на градската среда изисква събирането на голям обем от данни и предполага обучение за работа в GIS среда.

Необходимо е анализирането на различни метеорологични ситуации за избора на случаи при различен тип нахлувания (перпендикулярно и паралелно на улицата) за провеждане на числените симулации. Получените резултати ще бъдат анализирани с помощта на карти, представящи пространствено-времето разпределение на замърсители от транспорта. Моделните резултати ще бъдат сравнени в избрани точки, където са налични измервания с цел определяне на възможностите на модела при решаване на такъв тип задачи.

Планувани са числени експерименти с реално съществуващи и променени параметри на градския каньон (промяна на ширината на каньона, височината на сградите) и при промяна на морфологията на градската среда за да се изследва ефекта от презастрояването на свободните в момента площи. Получените полета при променените параметри след сравняване с реално съществуващите ще позволят да се определи влиянието на параметрите на избрания градски каньон върху полето на концентрацията на основни замърсители от транспорта. Тези експерименти могат да послужат за изготвянето на препоръки за бъдещо градско планиране и устойчиво развитие.

Получените научни резултати от различните дейности ще бъдат анализирани, обобщени и използвани за представяне на конференция и подготовката на статия.

- **Роля на участниците в изпълнението на проекта.**

Ръководителя на проекта, Доц. д-р Ренета Недялкова Димитрова да организира и следи дейностите по изпълнение на проекта.

Докторант Маргрет Петрова Велизарова — основен изпълнител на проекта.

Докторант Евгени Владимиров Владимиров — консултации свързани с пространственото представяне на градската инфраструктура в триизмерни карти.

Докторант Евгения Стефанова Егова — консултации за избор на синоптични обстановки за планираните числени експерименти.

Докторант Виктор Максоров Леви — консултации при анализа на резултатите свързани с атмосферна химия.

### **Очаквани резултати и научни приноси. Приложимост на резултатите**

През последните десетилетия правителството и общините полагат много усилия за подобряване на качеството на въздуха, но за съжаление жителите на столицата все още са изложени на високи нива на фини прахови частици ФПЧ<sub>10</sub> (ФПЧ с диаметър < 10µm) (ЕхЕА, 2017). Няколко проучвания (Rodríguez et al., 2015; Schindler & Caruso, 2014) показват статистически и експериментално, че фрагментираното, но компактно развитие е свързано с по-висока концентрация на NO<sub>2</sub> и РМ<sub>10</sub> и че особеностите на квартала и улицата са много важни за формиране нивата на замърсители, на които сме изложени. Получените резултати ще бъдат използвани за подготовка на статия и предоставянето на начало за развитието на надеждна и комплексна методология за определяне на замърсяването на въздуха в градска среда. Тя трябва да отчита сложността на физическите процеси (като динамика на потока, дифузия, турбулентност, валежи, аерозолна динамика поради различни физически процеси като коагулация, кондензация и химически трансформация и др.) и други динамични фактори (променливи емисии във времето и пространството;

нови замърсители, свързани с нови индустриални процеси; промени в нашето подобро разбиране на връзката между замърсяването на въздуха и човешкото здраве въз основа на нови научни изследвания, които могат да доведат до актуализиране на Директивата за качеството на околния въздух на ЕС в момента). Предлаганият проект ще спомогне за изучаването на част от тези проблеми и ще предложи възможност за надграждане на изследването и за разработването и моделирането на проектни сценарии за градско развитие, което да се използва при бъдещи градоустройствени планове.

#### **Ключови думи**

Градско замърсяване, параметри характеризиращи уличен каньон, числено моделиране.

## **Библиография**

- Atanassov D. (2000): Local scale PC-oriented Eulerian pollutant transport model PolTran-1-2, International Journal of Environment and Pollution, <https://www.researchgate.net/publication/264814627>
- CERC (2020): CERC\_ADMS-Urban5.0\_User\_Guide.pdf ([https://www.cerc.co.uk/environmental-software/assets/data/doc\\_userguides/CERC\\_ADMS-Urban5.0\\_User\\_Guide.pdf](https://www.cerc.co.uk/environmental-software/assets/data/doc_userguides/CERC_ADMS-Urban5.0_User_Guide.pdf))
- Dimitrova R. (1997): Three-layer model of mesoscale pollution in the atmosphere, Bulg. Geoph. J., XXIII, No 1-2, 29-40
- Dimitrova R., Ganev K., Zerefos Ch., Vasaras A. (2000): Exchange of sulfur and nitrogen compounds between Bulgaria and Greece, estimated with a simple tree-layer pollution transport model, Bulg. Geoph. J., XXVI, No 1-2, 114-123
- Dimitrova R. (2001): Air flows and pollution transport in the Sofia valley under highly stable background conditions, Bulg. Geoph. J., XXVII, No 1-4, 124-136
- Dimitrova R., Velizarova M. (2021) Assessment of the contribution of different particulate matter sources on quality of life in Sofia city. Atmosphere, under review process
- Etropolska I., Syrakov D., Ganev K., Prodanova M., Miloshev N., Slavov K., Jordanov G. (2010): A system for information and forecasting of air quality over Bulgaria, Proceedings of the 13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes — 1-4 June 2010, Paris, France. ISBN: 2-8681-5062-4, 530-534
- ExEA - Executive Environment Agency (2017): National Report on the State of Environment in Bulgaria -2017; <http://eea.government.bg/bg/soer/2017/air/kachestvo-na-atmosferniya-vazduh> (in Bulgarian)
- Gadzhev G., Ganev K., Syrakov D., Miloshev N., Prodanova M. (2012): Contribution of Biogenic Emissions to the Atmospheric Composition of the Balkan Region and Bulgaria, Int. J. Environment and Pollution, Vol. 50, Nos. 1/2/3/4, 130-139
- Gadzhev G., Ganev K., Miloshev N., Syrakov D. & Prodanova M. (2014a): Some basic facts about the atmospheric composition in Bulgaria - Grid computing simulations, 8353 LNCS, 484-490
- Gadzhev G., Ganev K., Miloshev N., Syrakov D., Prodanova M. (2014b): Analysis of the processes which form the air pollution pattern over Bulgaria, 8353 LNCS, 390-396
- Ganev K. (1981): Some results of the numerical modeling of mesometeorological processes in the Sofia field. (in Bulgarian), Bulgarian Geoph. J. v.VII, 3, 3-15
- Ganev K. & Yordanov K. (1981): Some examples of admixture transport in the Sofia field. (in Bulgarian), Bulgarian Geoph. J. v.VII, 3, 16-28
- Ganev K., Syrakov D., Zerefos Ch., Prodanova M., Dimitrova R., Vasaras A. (2002): On some cases of extreme sulfur pollution in Bulgaria or Northern Greece, Bulg. Geoph. J., XXVIII, No 1-4, 15-92
- Ganev K., Dimitrova R., Syrakov D., Zerefos Ch. (2003): Accounting for the meso-scale effects on the air pollution in some cases of large sulfur pollution in Bulgaria or Northern Greece, Environmental Fluid Mechanics, v.3, 41-53

- Ganev K., Dimitrova R., Miloshev N. (2004): Air flows and pollution transport in the Sofia valley under some typical background conditions, Proceedings of the XXVI International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Applications, 26.-30 May, 2003, Istanbul - Turkey, Kluwer Academic/Plenum Publ. Corp., 593-594
- Georgieva E., Syrakov D., Prodanova M., Etropolska I., Slavov K. (2014): Evaluating the performance of WRF-CMAQ models in Bulgaria by means of the delta tool HARMO 2014 - 16th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Proceedings, 304-308
- Georgieva I., Gadzhev G., Ganev K., Prodanova M., Syrakov D., Miloshev N. (2015): Numerical study of the air quality in the city of Sofia – some preliminary results, International Journal of Environment and pollution, Vol. 57, Nos. 3/4, 162-174
- Georgieva E., Syrakov D., Prodanova M., Etropolska I., Slavov K. (2015): Evaluating the performance of WRF-CMAQ air quality modelling system in Bulgaria by means of the DELTA tool. IJEP, 57(3-4), DOI: 10.1504/IJEP.2015.074512
- Georgieva I., Gadzhev G., Ganev K., Melas D., Wang T. (2017): High Performance Computing Simulations of the Atmospheric Composition in Bulgaria and the City of Sofia, Cybernetics and Information Technologies, 17(5), DOI: 10.1515/cait-2017-0053
- Giovannini L., Ferrero E., Karl T., Rotach M.W., Staquet C., Trini Castell, S., Zardi D. (2020): Atmospheric Pollutant Dispersion over Complex Terrain: Challenges and Needs for Improving Air Quality Measurements and Modeling. Atmosphere, 11, 646
- Gromkova N., Ganev K., Yordanov D., Georgieva E., Dimitrova R., Miloshev N. (2002): Dispersion regulatory model for designing new industrial stacks – software, Proc. of the 8th Intern. Conf. on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory purposes, Sofia, Bulgaria, 14-17 Oct. 2002, 180-184
- Petrov, A (2019) Analysis of modelled distribution of air pollutants around buildings at different meteorological conditions. Bul. J. Meteo & Hydro, 23(1), 58-68 (in Bulgarian).
- Rodríguez M. C., Dupont-Courtade L., Oueslati W. (2015): Air pollution and urban structure linkages: evidence from european cities, OECD Environment Working Papers 96, OECD Publishing.
- Byun, D. W., & Schere, K. L. (2006): Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the models-3 community multiscale air quality (CMAQ) modeling system. Applied Mechanics Reviews, 59, 51-77. <http://dx.doi.org/10.1115/1.2128636> Schindler & Caruso, 2014
- Schindler, M. & Caruso, G. (2014): Urban compactness and the trade-off between air pollution emission and exposure: Lessons from a spatially explicit theoretical model. Computers Environment and Urban Systems 45:13–23, DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2014.01.004
- Skamarock, W. C.; Klemp, J.B.; J. Dudhia; Gill, D.O.; Barker, D.M.; Duda M. G; Huang, X.-Y.; Wang, W.; Powers, J. G. (2008): A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 2008, doi:10.5065/D68S4MVH2008.
- Syrakov D., Spiridonov V., Prodanova M., Bogatchev A., Miloshev N., Ganev K., Katragkou E., Melas D., Poupkou A., Markakis K., San Jose R., Pérez J. L. (2011a): A system for assessment of climatic air pollution levels in Bulgaria: description and first steps towards validation, Int. J. Environment & Pollution Vol. 46, Nos. 1/2, 8-42, ISSN (Online): 1741-5101 - ISSN (Print): 0957-4352, IF 0.706
- Syrakov D., Prodanova M., Etropolska I., Ganev K., Miloshev N., Slavov K., Jordanov G. (2011b): Automated system for chemical weather forecast in Bulgaria, Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology, v. 16, No. 1, pp.30-40
- Syrakov D., Ganev K., Prodanova M., Miloshev N., Slavov K. (2012): Fine resolution modeling of climate change impact on future air quality over Bulgaria, 32st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application 7-11 May, 2012, Utrecht, The Netherlands (on a CD)
- Syrakov D., Etropolska I., Prodanova M., Slavov K., Ganev K., Miloshev N., Ljubenov T. (2013): Downscaling of Bulgarian Chemical Weather Forecast from Bulgaria region to Sofia city, American Institute of Physics, Conf. Proc. 1561, 120-132, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4827221>

Syrakov D., Prodanova M., Etropolska I., Slavov K., Ganev K., Miloshev N., Ljubenov T. (2014): A Multy-Domain Operational Chemical Weather Forecast System, in I. Lirkov et al. (Eds.): LSSC 2013, LNCS 8353, 413–420, DOI: 10.1007/978-3-662-43880-0 55, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Syrakov D., Prodanova M., Georgieva E. (2015a): Performance of the Bulgarian WRF-CMAQ modelling system for three subdomains in Europe. *Física de la Tierra*, 27, 137-153

Syrakov D., Prodanova M., Georgieva E., Etropolska I., Slavov K. (2015b): Simulation of European air quality by WRF-CMAQ models using AQMEII-2 infrastructure *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 293, 232–245

Syrakov D., Prodanova M., Georgieva E., Etropolska I, Slavov K. (2016): Simulation of European air quality by WRF-CMAQ models using AQMEII-2 infrastructure. *J Comput Appl Math*, 293, 232–24

Syrakov E. (2010); Atmospheric boundary layer: structure, parametrization, interactions. Published by Heron Press Ltd., Bulgaria, 2011 (in Bulgarian)

Todorova A., Syrakov D., Gadzhev G., Georgiev G., Ganev K., Prodanova M., Miloshev N., Spiridonov V., Bogatchev A., Slavov K. (2010): Grid computing for atmospheric composition studies in Bulgaria, *Earth Science Informatics* 3(4), 259-282, DOI: 10.1007/s12145-010-0072-1

Velizarova M. & Dimitrova R. (2020): Study of one month event of high PM pollution for Sofia region, *Proc. of EnviroRisks Conference*, 29 September – 1 October, Sofia, 2020, accepted for publication

Zerefos Ch., Syrakov D., Ganev K., Vasaras A., Kourtidis K., Tzortziou M., Prodanova M., Dimitrova R., Georgieva E., Yordanov D., Miloshev N. (2004): Study of the pollution exchange between Bulgaria and Northern Greece. *Int. J. Environment & Pollution*, v.22, No.1/2, 163-185, doi:10.1504/IJEP.2004.005507