

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“

ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ

Том 113

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”

FACULTI DE GEOLOGIE ET GEOGRAPHIE

Livre 2 – GEOGRAPHIE

Volume 113

---

## ИЗПОЛЗВАНЕ НА БЕЗПИЛОТНА ЛЕТАТЕЛНА СИСТЕМА ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ВЕРТИКАЛНОТО РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ПРАХОВО ЗАМЪРСЯВАНЕ

ПАВЕЛ ЦВЕТКОВ

*Катедра „Картография и ГИС“  
e-mail: pavel.tzvetkov@outlook.com*

*Pavel Tzvetkov. USING AN UNMANNED AERIAL SYSTEM INVERTICAL MAPPING OF FINE PARTICLE POLLUTION*

The paper introduces a methodology of using an unmanned aerial system for the measurement of the vertical dispersion of fine particle pollution in real time. The system utilizes an unmanned aerial vehicle and a particle sensor with connection to the internet, allowing real time measurements. The paper introduces measurements taken in June 2019 in the vicinity of a high traffic area at ring road Sofia, Bulgaria. Three measurement flights are carried out, to an altitude of fifty meters. Pauses at different altitudes are able to provide distinct vertical patterns of the particle distribution. The results show significant patterns in the vertical spread of the particles and demonstrate an effective methodology for real time measurement of airborne pollution.

*Key words:* unmanned aerial system, remote sensing, air pollution, air quality, GIS.

### УВОД

Към момента пътният трафик в България е един от основните източници на емисии от прахови частици в страната. Известен факт е, че замърсяването, предизвикано от него, включващо прахови частици с размер PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> и други газови замърсители като NO<sub>2</sub>, има негативен ефект върху здравето.

Според обновените през 2005 г. стандарти за качество на въздуха на Световната здравна организация значителен брой изследвания като Cohen, Aetal (2004), Katsouyanni, Ketal (2001) и др. представят доказателства за ефектите на фините частици с различни размери и състав. Наблюдават се ефекти върху човешкото здраве след излагане на силно въздушно замърсяване както в краткосрочен (часове и дни), така и в дългосрочен план (години) (Atkinson 2013).

Като имаме предвид множеството негативни ефекти от тези замърсители, е важно да бъдат следени нивата им. Към момента съществуващите мрежи от сензори предлагат ниска пространствена точност, ограничено покритие и главно отсъствие на данни за вертикалното разпространение на замърсителите. Друго важно ограничение е времевата разделителна способност на получаваните данни. Това ограничава възможностите за реакция и потенциала за оперативни решения при високи нива на замърсяване.

Като решение на споменатите ограничения в това изследване е използвана мултироторна безпилотна летателна система (БЛС) за измерването на вертикалното разпространение на фини прахови частици с размери PM1, PM2.5 и PM10.

Безпилотните летателни системи (БЛС) дават нови възможности за изследвания в голям брой направления и осигуряват по-голяма прецизност в работата. БЛС разкриват значителен потенциал за изучаване на явления, които ни въздействат всеки ден.

Такова ново за България приложение е представено в това изследване: възможността за мобилно и прецизно измерване на количеството фини прахови частици във въздуха във височина над дадена територия. Чрез представеното изследване може да се добие картина на разпространението на частици в атмосферния стълб над различни видове източници и терени. Това изследване представлява развитие въз основата на Цветков, П. Използване на безпилотна летателна система за картиране на прахово замърсяване) и разширяване на насоките на изследването.

БЛС предлагат ефективна възможност за създаване на картина на дадено явление върху желана територия в реално време или близко до реалното време. Разбира се, важно е да се отчетат настоящите ограничения на техническите възможности. Едно от тях е свързано с посоката и скоростта на вятъра, който променя разпространението на частиците във въздуха. Второ важно ограничение е нуждата да се доразвият възможностите за визуализация в реално време на измерените таблични данни. Това би могло да се преодолее чрез разработването на нов интернет портал.

Важна особеност на безпилотните летателни системи спрямо дистанционно управляемите летателни апарати е наличието на автопилот и навигационна система, позволяващи следването на предварително зададен летателен план. За настоящото изследване се използва БЛС в състав:

- Летателен апарат, оборудван с автопилот Pixhawk
- Наземна контролна станция, оборудвана със софтуер Mission Planner 1.3.62
- Полезен товар, съставляващ сензор AirBeam2 и Android устройство с интернет връзка.

Използването на автопилот и летателен план позволява да се осъществи точен полет и желана времева и разделителна способност спрямо нуждите на изследването.



Фиг. 1. Район на измерване  
Fig. 1. Location of field experiment

В настоящото изследване безпилотната летателна система беше използвана за наблюдение и визуализация на вертикалното разпространение на праховото замърсяване, произлизащо от трафика в непосредствена близост до южната дъга на околновръстен път София и по-точно в района на резиденция „Бояна“, показано на фиг. 1 с координати  $42.655943^\circ$ ,  $23.276036^\circ$ . Измерванията бяха проведени в три различни дни и през различни части на деня.

Мястото на изследване беше избрано заради ограничените странични източници на замърсяване, както и поради натовареността на трафика в района.

Обемът на трафика представя сравнително постоянна картина на замърсяването, както и реалното му разпространение в един от най-компактно населените райони на София.

Метеорологичните условия по време на измерването бяха благоприятни: незначителната скорост на вятъра, както и ниска влажност на въздуха. Практическото безветрие предостави точна картина на замърсяванията. Измерванията бяха проведени на следните дати и части от деня:

1. 05.06.2019 – 12:00
2. 06.06.2019 – 09:30
3. 11.06.2019 – 16:00

## МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

В изследването са представени три измервателни полета, всеки до височина от 50 м над терена. Сензорите за измерване представляват първия компонент от използваната система. Измерването на данните се извършва посредством сензор за прахови частици AirBeam2 с възможност за измерване на частици от PM1, PM2.5, PM10, температура и влажност на въздуха. Устройството бе избрано като икономично решение с отворен код и добра функционалност. AirBeam2 използва метод за разсейване на светлината за измерване на частиците. Въздухът се изтегля през камера, в която светлина от лазер се разпръсква от частици, намиращи се във въздушния поток. Това разсейване на светлината се регистрира от детектор, който оценява броя на частиците във въздуха и ги превръща в данни.

Сензорните данни от AirBeam2, представени на фиг. 9 в Приложението, се прехвърлят в реално време на устройство с операционна система Android чрез безжична Bluetooth връзка или Wi-Fi мрежа. Посредством безжична интернет връзка на Android устройството данните се прехвърлят на интернет портал, където могат да бъдат наблюдавани в близко до реално време. Данните могат да бъдат намерени в съответната сесия на устройството на <http://www.aircasting.org/>.

Вторият компонент на системата за осъществяването на настоящото наблюдение бе безпилотна летателна система, разработена на основата на безпилотен летателен апарат Tarot FY650 IRON MAN 650 Quad-Copter. Летателният апарат се задвижва от четири безчеткови електромотора. Контролът над полета се осъществи от автопилот тип Pixhawk, снабден с радио комуникационен модул за двустранна връзка на честота 433MHz. Визуална картина на летателната система е представена на фиг. 8 в Приложението.

Използването на летателната система в настоящото наблюдение включва процес, който може да бъде разделен на няколко последователни стъпки.

1. Избор на подходяща територия или такава от определен интерес във връзка с локализация на въздушно замърсяване. При избора на територия и време на наблюдението трябва да бъдат взети под внимание метеорологичните условия, както и да се има предвид времето на деня и следователно активността на потенциалните замърсители. Съществен фактор в измерванията, който трябва да бъде отбелязан, е вятърът. Той играе важна роля в разпространението на праховите частици, включително и в разпространението на частиците спрямо тяхната големина и маса. Настоящото изследване бе проведено при благоприятни метеорологични условия с незначителна скорост на вятъра.

2. Създаването на летателен план за територията с подходящи за нея параметри. Под внимание е необходимо да бъде взета сигурността на летателната система, наличието на хора и обекти на територията на изследването, както и законовите регулации за извършването на подобна дейност. При настоящото

изследване полетите са до максимална височина от 50 м, с паузи при издигане и снижаване на всеки 10 м височина. Тези височини дават представа за функционално значимото за нас замърсяване, като резултатите отчетливо представят разлика в концентрациите.

Следваща стъпка е създаване на сесия за измерване на Android устройството. След създаването на сесията геореферирани данни, които включват координатите и времето на измерените точки, се прехвърлят на интернет портала в реално време. В настоящия случай за визуализация бе използван порталът [www.aircasting.org/map](http://www.aircasting.org/map), който е основен за хардуера AirBeam2.

3. Данните от изследването могат да бъдат визуализирани по няколко различни начина:

– Първият начин е визуализация в реално време при изпълнението на полетния план от интернет портала [www.aircasting.org/map](http://www.aircasting.org/map). Данните биват изпращани от сензорите веднъж в секунда;

– Вторият начин за визуализация е след приключване на полета на Android устройството, свързано с AirBeam2;

– Третият – от CSV (Excel) файл с геореферирани стойности и възможност за външна визуализация. Данните дават възможност след обработка да бъдат визуализирани и интегрирани към дигитален модел на терена. Разбира се, това би отнело от целите за реално временно наблюдение.

## РЕЗУЛТАТИ

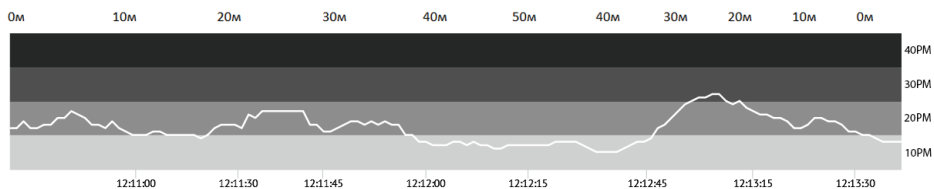
Възможността за визуализиране и моделиране на вертикалната колона на прахови частици с размер PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> за дадена точка и в реално време е демонстрирана чрез изследване в натоварен участък от околновръстният път на София. Както бе споменато, наблюдението беше проведено през месец юни 2019 г. Първата процедура по измерването бе създаването на летателен план над избраната територия. Както беше споменато, това е сред най-важните стъпки в изследването. Летателният план отрази адекватно формата на територията, както и преобладаващата посока на вятъра към момента на полета, за да бъдат получени обективни резултати. При значителен вятър и в зависимост от посоката му данните за праховите концентрации биха се различавали от тези при безветрие.

Летателният план предвижда вертикални полети с максимална височина от 50 м, като на всеки 10 м височина летателната система прекарва 10 секунди в статично положение.

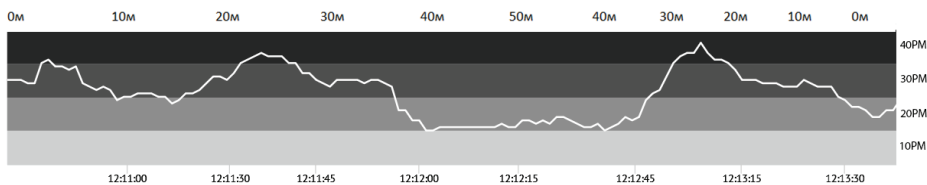
Височините на полетите бяха съобразени и избрани спрямо условията: значимо за населението в района разпространение на частиците и потенциала на картината на замърсяването. Вследствие на полетите се доби сравнително добра основа за анализ на разпространението на частиците.

В резултат на осъществения летателен план и измервания бяха създадени девет изображения, разделени по дни на измерване. Събраните данни представят разпространението на частици с различна големина в непосредствена близост до обект от значителен интерес за целите на изследването – околоръстен път на София.

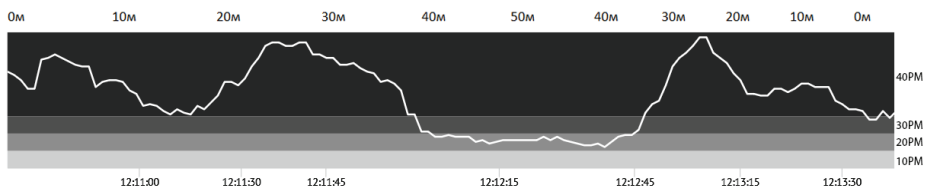
Полет 1 – 05.06.2019 – 12:00



Фиг. 2. PM1 частици  
Fig. 2. PM1 particles

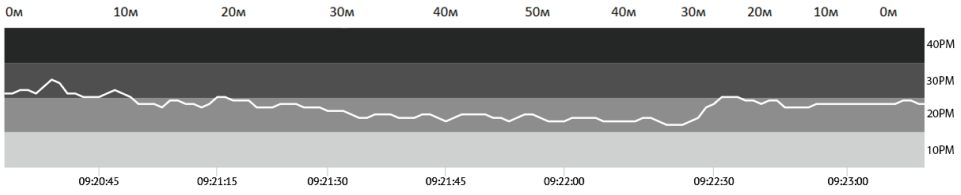


Фиг. 3. PM2.5 частици  
Fig. 3. PM2.5 particles

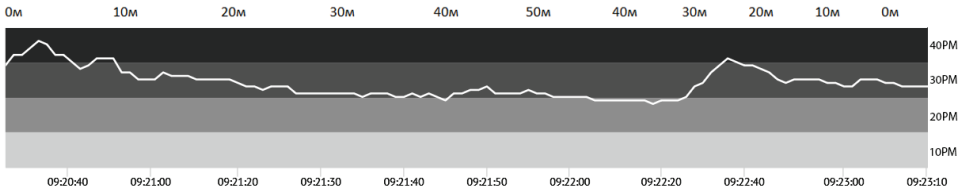


Фиг. 4. PM10 частици  
Fig. 4. PM10 particles

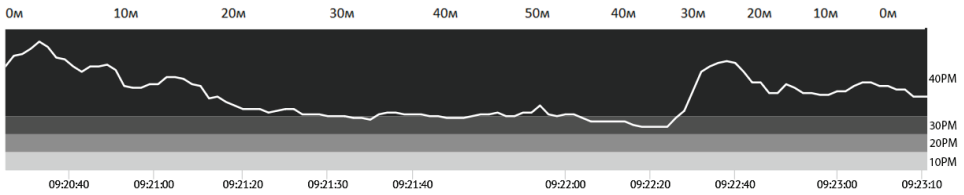
Полет 2 – 06.06.2019 – 09:30



Фиг. 5. PM1 частици  
Fig. 5. PM1 particles

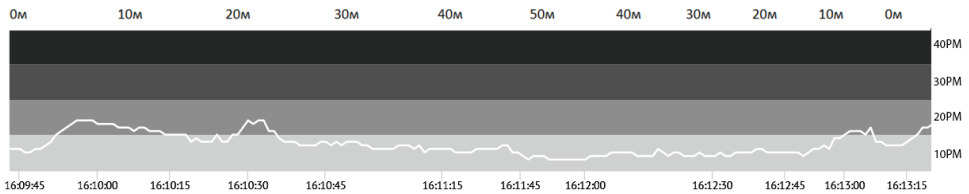


Фиг. 6. PM2.5 частици  
Fig. 6. PM2.5 particles

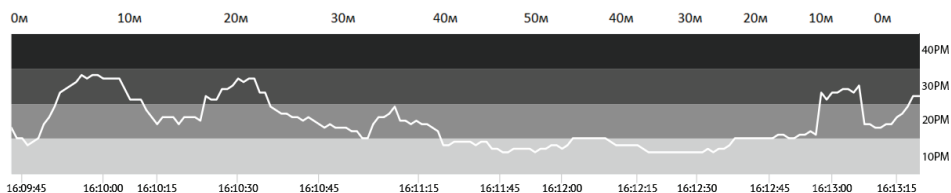


Фиг. 7. PM10 частици  
Fig. 7. PM10 particles

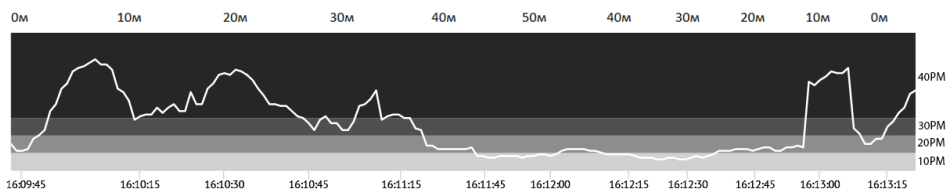
Полет 3 – 11.06.2019 – 16:00



Фиг. 8. PM1 частици  
Fig. 8. PM1 particles



Фиг. 9. PM2.5 частици  
Fig. 9. PM2.5 particles



Фиг. 10. PM10 частици  
Fig. 10. PM10 particles

## АНАЛИЗ

При полет 1, проведен на 05.06.2019 – 12:00, представен на фиг. 2, 3 и 4, наблюдаваме завишена концентрация на частици от трите стойности – PM1, PM2.5 и PM10 в близост до земната повърхност. Отчетливо се забелязва спад в концентрациите над граница от около 30 м височина, или в средата на полета, и респективно – в приложените графики. Занижените стойности остават сравнително непроменени от около 30 м височина до тавана на полета от 50 м, след което наблюдаваме рязко завишение при снижаване. Тук трябва да отбележим и сравнително ниските стойности непосредствено над земната повърхност при състояние на покой на БЛС.

При полет 2, проведен на 06.06.2019 в 09:30 ч., забелязваме по-високи и равномерни стойности във въздушната колона спрямо полет 1, включвайки и стойностите, отчетени на наземно ниво. Забелязва се по-малка амплитуда във височина в разпръскването на частиците с по-малък диаметър и статистически с по-малка маса. Отчитайки идентичните метеорологични условия в дните на полетите, можем да стигнем до заключение, че нивата се дължат на усилен трафик.

При последния полет, проведен на 11.06.2019 в 16:00 ч., отново наблюдаваме завишени концентрации на прахови частици в близост до земната повърхност.

Както можем да видим от фиг. 1, специфичният терен на изследване предлага благоприятни условия за отчетлива визуализация на резултатите. В това число трябва да бъде отбелязана липсата на негативни за измерването факто-



ри като високи обекти, бариери и в случая – липсата на висока растителност между източника на замърсяването и терена на наблюдение.

В резултат на изследването можем да добием представа за вертикално издигане на частиците непосредствено над обекта на изследване. И в трите дни на наблюдение след издигане на височина над 30 м има видимо намаление на праховите концентрации. Във всяко от наблюденията най-повлияни от височината са частиците с по-голяма маса, като концентрациите им са най-отчетливо диференцирани. При изследването също така откриваме, че в близост до повърхността и до обекта на изследване съществува район на сравнително по-ниска прахова концентрация.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

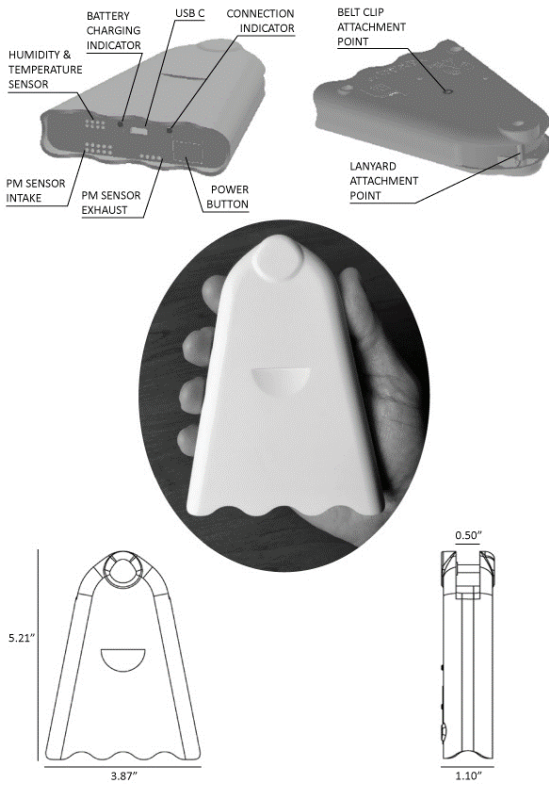
Бъдещето на БЛС в измерването на качеството на въздуха е обещаващо главно благодарение на гъвкавостта им. В същото време новите технологии в сфери като химия, физика и информационни технологии се развиват бързо, предоставяйки по-добри възможности за детайлни дистанционни изследвания (Villa 2017).

Полетите ясно показват вертикалното разпространение на частиците, причинени от трафика.

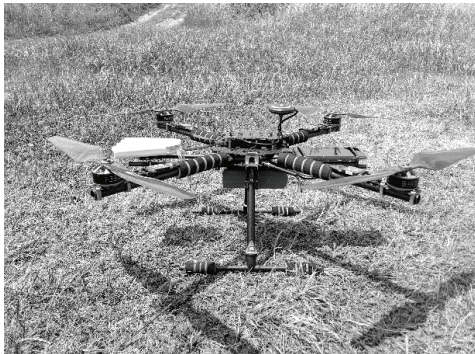
Настоящото изследване показва, че технологиите днес предоставят нови възможности за измервания както на изследователи, така и на граждани с интерес към все по-засягащата ни тема за качеството на въздуха. Изследването демонстрира, че използването на безпилотни летателни системи може да представи вертикални сечения на разпространението на замърсители от пътен трафик в атмосферата.

Това дава картина с по-голяма пространствена и времева разделителна способност от възможното и очаквано до момента. Възможността за прецизни и мобилни изследвания разширява и дава нови приложения на измерването на въздушното замърсяване. Също така това открива нови приложения на географските изследвания чрез дистанционни методи и географски информационни системи.

## ПРИЛОЖЕНИЕ



Фиг. 11. AirBeam 2, описание и физически характеристики  
 Fig. 11. AirBeam 2, description and physical characteristics



А.



Б.

Фиг. 12. Безпилотна летателна система тип мултиротор със сензор и трансмитер в готовност за полет

Fig. 12. Unmanned aerial system equipped with the sensor AirBeam2

## ЛИТЕРАТУРА

- Илинский, А. 2017. ГЛС в търсене на нефтени находища. Всерусийски научноизследователски геологопроучвателен институт (ВНИГРИ) и Санкт-Петербургски национален изследователски университет по информационни технологии, механика и оптика (ИТМО).
- Филипов, А. 2017. Използване на безпилотна летателна система за фотограметрични цели. – *Год. на СУ, ГГФ*, т. 109, кн. 2 – География.
- Цветков, П., А. Филипов. 2019. Използване на безпилотна летателна система за картиране на прахово замърсяване. – *Год. на СУ, ГГФ*, т. 112, кн. 2 – География.
- Atkinson, R. L., T. Barregård, R. Bellander et al. 2013. Review of evidence of health aspects of air pollution. WHO Technical report, REVIHAAP Project.
- Cohen, A. 2004. Mortality impacts of urban air pollution. – In: Ezzati, M. et al. (eds). Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors. Geneva, World Health Organization: 1353–1434.
- Katsouyanni, K. 2001. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. – *Epidemiology*, 12: 521–531.
- Weber, K., G. Heweling, C. Fischer et al. 2017. The use of an octocopter UAV for the determination of air pollutants, Laboratory for Environmental Measurement Techniques, Duesseldorf University of Applied Sciences.
- Villa, T. F., B. Miljevic, Z. D. Ristovski et al. 2016. An Overview of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality Measurements: Present Applications and Future Prospectives. International Laboratory for Air Quality and Health (ILAQH), Queensland University of Technology (QUT).

## SUMMARY

### USING AN UNMANED AERIAL SYSTEM INVERTICAL MAPPING OF FINE PARTICLE POLLUTION

The paper introduces a methodology of using an unmanned aerial system for the measurement of the vertical dispersion of fine particle pollution in real time. The system utilizes an unmanned aerial vehicle and a particle sensor with connection to the internet, allowing near real time measurements. The paper introduces measurements taken in June 2019 in the vicinity of a high traffic area at ring road Sofia, Bulgaria, with coordinates; 42.655943°, 23.276036°.

The possibility for mobile and accurate measurement of the amount of fine dust particles at a height above a given territory is a first of its kind in Bulgaria. Through the presented research a picture can be obtained of the distribution of particles in the atmospheric column, over diverse types of sources and terrains.

The data is obtained using an AirBeam2 particle sensor mounted on a multicopter UAV. The sensor system has the ability to measure particles of PM1, PM2.5, PM10 as well as temperature and humidity. The device was chosen as an economical solution with open

source and good functionality. AirBeam2 uses a light scattering method to measure particle concentration.

Three measurement flights were carried out, to an altitude of fifty meters. Pauses at every 10 meters of altitudes were able to provide distinct vertical patterns of the particle distribution. As a result of the implemented flight plan and measurements, nine graphics were created, divided by the days of measurement. The collected data represent the distribution of particles of different sizes in the immediate vicinity of the object of interest for the purposes of the study.

As a result of the study we can get an idea of a vertical rise of the particles immediately above the object of study. In all three days of observation, after rising to a height of about 30 meters there is a visible decrease in particle concentrations. In each of the observations, the most affected by height are the particles with higher mass (PM10), and their concentrations are more clearly differentiated in altitude. In the study we also found that near the ground surface and in immediate proximity to the object of study there is an area of a relatively lower particle concentration. The results show significant patterns in the vertical spread of the particles and demonstrate an effective methodology for real time measurement of airborne pollution.