

# ОПИСАНИЕ НА НЯКОИ КОМПЛЕКТИ СЕНЗОРИ И ЛАБОРАТОРНИ ДЕЙНОСТИ

Този материал е финансиран от Европейската комисия в рамките на проекта „Еразъм+“.

**Прилагане на някои съвременни технологии в преподаването и научните изследвания  
във връзка със замърсяването на въздуха**

**Код на проекта: 2021-1-RO01-KA220-HED-000030286**

Подкрепата на Европейската комисия за издаването на тази публикация не представлява одобрение на съдържанието, което отразява единствено възгледите на авторите, и Националната агенция и Комисията не носят отговорност за използването на съдържащата се в нея информация.



**Funded by  
the European Union**



University of Craiova



Paisii Hilendarski  
University of Plovdiv



Adana Alparslan Türkeş  
Science and Technology  
University

**umb**  
UNIVERZITA  
MATEJA BELA  
V BANSKEJ BYSTRICI  
Matej Bel University,  
Banská Bystrica

Автори:

Михаела Тинка Удристоу  
Силвия Пую  
Силвия Галой  
Румен Попов  
Мартин Хруска  
Раду Мотисан  
Силвиу Константин Сарару  
Юлиан Петрисор  
Йон Булигиу  
Тугче Пекдоган

Редактор:

Елисавета Марекова

Превод:

Елисавета Марекова

© Михаела Тинка Удристоу, Силвия Пую, Силвия Галой, Румен Попов,  
Мартин Хруска, Раду Мотисан, Силвиу Константин Сарару, Юлиан Петрисор,  
Йон Булигиу, Тугче Пекдоган – автори, 2023

© Пловдивско университетско издателство, 2023

ISBN 978-619-7663-92-1 (print)

ISBN 978-619-7663-93-8 (web)

# СЪДЪРЖАНИЕ

<b>ВЪВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>7</b>
<b>ГЛАВА 1. ВИСОКОПРЕЦИЗНО ИЗМЕРВАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ВЪЗДУХА С ПОМОЩТА НА СЕНЗОР RTD PT100</b> .....	<b>20</b>
1.1. Теория .....	20
1.1.1. Измерване на температурата с помощта на RTD .....	20
1.1.2. RTD за благородни метали .....	20
1.1.3. Преобразувател на сигнали PRTD .....	22
1.1.4. Платка за събиране на данни (DAQ) .....	23
1.1.5. Изчисляване на съпротивлението на RTD .....	24
1.2. Лабораторна конфигурация .....	24
1.2.1. Конфигурация на хардуера .....	24
1.2.2. Софтуерно приложение .....	25
1.3. Задачи .....	26
<b>ГЛАВА 2. ИЗМЕРВАНЕ НА КОМПОНЕНТИТЕ НА СЛЪНЧЕВОТО ГРЕЕНЕ</b> .....	<b>27</b>
2.1. Теория .....	27
2.1.1. Пряка, глобална и дифузна слънчева радиация .....	27
2.1.2. Инструменти за измерване .....	28
2.1.2.A. Пиранометър SMP6 .....	28
2.1.2.B. Пирелиометър CHP 1 .....	29
2.1.3. Измерване на пряката, глобалната и дифузната слънчева радиация .....	30
2.1.3.A. Платка за събиране на данни (DAQ) .....	30
2.1.3.B. Измерване на пряката слънчева радиация .....	31
2.1.3.C. Измерване на глобалната слънчева радиация .....	32
2.1.3.D. Изчисляване на дифузната слънчева радиация .....	32
2.2. Лабораторна конфигурация .....	32
2.2.1. Конфигурация на хардуера .....	32
2.2.2. Софтуерно приложение .....	33
2.3. Задачи .....	33
<b>ГЛАВА 3. ИЗМЕРВАТЕЛ НА НИВОТО НА ЗВУКА С ПОМОЩТА НА ARDUINO</b> .....	<b>34</b>
3.1. Теория .....	34
3.1.1. Какво означава ниво на интензивност на звука? .....	34
3.1.2. Как се изчислява нивото на интензивност на звука? .....	34
3.1.3. Разпространение на звука в околната среда .....	37
3.2. Лабораторна конфигурация .....	37
3.2.1. Кратко описание на отделните компоненти на разработения измервател на нивото на звука Arduino .....	37
3.2.2. Описание на свързването и конструкцията на звукомера Arduino .....	41

3.2.3. Програмиране на звукомера Arduino и описание на програмата .....	43
3.2.4. Калибриране на звукомер на Arduino .....	47
3.2.5. Събиране на данни от шумомер чрез компютър .....	48
3.2.6. Как да работим със звукомер на Arduino .....	48
3.3. Задачи.....	49
3.3.1. Измерване на нивото на шума в помещението .....	49
3.3.1.A. Процедура по измерване .....	49
3.3.1.B. Анализ на данните .....	50
3.3.2. Измерване на шума в мястото на пребиваване или в училището .....	51
3.3.2.A. Процедура по измерване .....	51
3.3.2.B. Анализ на данни .....	51
3.3.3. Как се променя нивото на интензивност на звука в зависимост от разстоянието?.....	52
3.3.3.A. Процедура по измерване .....	52
3.3.3.B. Анализ на данни .....	54
<b>ГЛАВА 4. КАК ДА НАПРАВИМ ГАЙГЕР-МЮЛЕРОВ БРОЯЧ, КАТО ИЗПОЛВАМЕ МИКРОКОНТРОЛЕР? .....</b>	<b>56</b>
4.1. Теория .....	56
4.1.1. Йонизиращо лъчение и неговото измерване .....	56
4.1.2. Кратко описание на отделните компоненти на GM детектора .....	58
4.2. Лабораторна конфигурация .....	61
4.2.1. Описание на свързването и конструкцията на детектора Arduino GM .....	61
4.2.2. Програмиране на GM детектора на Arduino и описание на програмата .....	62
4.2.3. Събиране на данни чрез компютър .....	65
4.3. Задачи.....	65
4.3.1 Как да използвате GM брояч при измерване и да се предпазвате от радиация (защита от разстояние) .....	65
4.3.1.A. Процедура по измерване .....	65
4.3.1.B. Анализ на данни .....	66
4.3.2. Как да се предпазим от радиация (екранираща защита) .....	67
4.3.2.A. Процедура по измерване .....	67
4.3.2.B. Анализ на данни .....	67
<b>ГЛАВА 5. МЕТЕОРОЛОГИЧНА СТАНЦИЯ НА БАЗАТА НА ARDUINO.....</b>	<b>70</b>
5.1. Теория .....	70
5.1.1. Кратко описание на всеки компонент на метеорологичната станция .....	70
5.1.2. Описание на свързването и изграждането на метеорологичната станция .....	73
5.2. Лабораторна конфигурация .....	76
5.2.1. Програмиране на метеорологичната станция и описание на програмата .....	76
5.2.2. Събиране на данни чрез компютър .....	79
5.3. Задачи.....	81

5.3.1. Използване на измерванията. Метеорологично наблюдение .....	81
5.3.1.А. Процедура по измерване .....	81
5.3.1.В. Анализ на данни .....	81
<b>ГЛАВА 6. КОМПЛЕКТ С ОПИСАНИЕ НА РМ СЕНЗОР И КАК СЕ ПРАВИ РМ СЕНЗОР .....</b>	<b>84</b>
6.1 Теория .....	84
6.1.1. Съдържание на комплекта и роля на всеки компонент .....	84
6.1.2. Как да направя сензор РМ Smoggie с помощта на комплект? .....	89
6.2. Лабораторна конфигурация .....	90
6.2.А. Как да захванваме ESP8266 WeMos D1 Mini? .....	90
6.2.В. Как да „флашнете“ програмния код на ESP8266 WeMos D1 Mini .....	91
6.3. Задачи.....	93
<b>ГЛАВА 7. 3D ПРИНТИРАНЕ. ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ ЗА ТОВА КАК ДА ПОДГОТВИТЕ МОДЕЛА СИ ЗА 3D ПРИНТИРАНЕ .....</b>	<b>95</b>
7.1. Теория .....	95
7.2. Лабораторна конфигурация .....	96
7.3. Задачи.....	99
<b>ГЛАВА 8. ПРИДОБИВАНЕ НА НАБОРИ ОТ ДАННИ, СЪБРАНИ ОТ СЕНЗОРИ .....</b>	<b>106</b>
8. Теория.....	106
8.1. Описание на сензорната мрежа .....	106
8.2. Лабораторна конфигурация: Четене на информация от сензори .....	107
8.3. Задачи.....	108
8.3.1. Изтегляне на набори от данни .....	108
8.3.2. Организиране на данните .....	113
<b>ГЛАВА 9. ОБРАБОТКА И КОРЕЛАЦИОНЕН АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ СЕНЗОРНИ ДАННИ .....</b>	<b>114</b>
9.1. Теория .....	114
9.1.1. Импортиране на данни от CSV файлове в Excel .....	114
9.1.2. Централизация на данни .....	115
9.1.3. Обобщаване на данни с инструмента PivotTable .....	116
9.1.4. Генериране на графики и интерпретация на потока от данни .....	118
9.2. Корелационен анализ.....	119
9.2.1. Изчисляване на коефициенти на корелация с помощта на Analysis Toolpak .....	119
9.2.2. Корелационен анализ между параметрите на CO <sub>2</sub> , шума, CH <sub>2</sub> O и O <sub>3</sub> .....	121
9.3. Задачи.....	125
<b>ГЛАВА 10. СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ДАННИТЕ, ПРЕДОСТАВЕНИ ОТ СТАНЦИЯ ЗА МОНИТОРИНГ НА КАЧЕСТВОТО НА ВЪЗДУХА: СЛУЧАЯТ АДНА.....</b>	<b>126</b>
10.1. Теория.....	126

10.1.1. Описание на замърсяването на въздуха на открито .....	126
10.1.2. Изисквания за замърсяване на въздуха на открито.....	128
10.2. Пример за работа с набор от данни.....	131
10.2.1. Климатични условия.....	131
10.2.2. Местоположение на сензорите .....	133
10.2.3. Събиране на данни.....	134
10.3. Анализ на данни.....	138
10.3.1. Събиране на данни.....	139
10.3.2. Изпращане на данни .....	139
10.3.3. Описателен анализ.....	143
10.3.4. Визуализация на данни.....	144
10.3.5. Регресионен анализ .....	147
10.3.6. Корелационен анализ .....	149
10.3.7. Разширения на SPSS.....	151
10.4. Заключение.....	152

## ВЪВЕДЕНИЕ

*Този раздел е написан от Михаела Тинка Удристоу, Силвия Пую и Силвия Галой от Университета в Крайова, Румъния.*

Четири университета – Университетът в Крайова (УКр), Пловдивският университет „Паисий Хилендарски“ (ПУ), Университетът „Матей Бел“ в Банска Бистрица (УМБ) и Университетът за наука и технологии в Адана Алпарслан Тюркеш (АТУ) са партньори по проект „Прилагане на съвременни технологии в преподаването и научните изследвания във връзка със замърсяването на въздуха“ по програма Еразъм+. В рамките на този проект членовете на екипа за изпълнение си сътрудничат и обменят опит в подготовката на студенти по STEM. В тази книга е представен набор от лабораторни дейности, полезни за студентите и преподавателите. Новите технологии, иновациите и предприемачеството трябва да бъдат включени в обучението на студентите, за да им помогнат след завършване на образованието да се адаптират към предизвикателната работна среда и да получат достъп до добре платени работни места. Освен това студентите трябва да бъдат чувствителни към проблемите на околната среда, да разбират как замърсяването влияе на здравето им и да познават елементите на законодателството в областта на опазването на околната среда.

В тази книга за лабораторни дейности се споделят добри практики и някои идеи на преподаватели, които обучават студенти от инженерни и научни специалности от четирите университета – УКр, ПУ, УМБ и АТУ, как да използват комплект сензори за изработване, програмиране, свързване и предаване на данни към обширна независима мрежа от сензори. Също така в тази лабораторна книга ще бъде представено как студентите могат да визуализират данните, получени от всеки сензор, как те могат да бъдат изтеглени от базата данни и как могат да бъдат анализирани и използвани. Практическите умения и компетентности за експериментална работа са от съществено значение за бъдещите инженери и учени. Същевременно завършващите трябва да имат предприемаческа перспектива и да познават някои съществуващи закони за опазване на околната среда. Поради тази причина в следващите параграфи са представени две различни гледни точки по отношение на устойчивия бизнес и спазването на закона.

Напоследък интересът към развитието на предприемачески инициативи доста нарасна. Фокусът върху устойчивото развитие помогна на много хора да превърнат своите бизнес идеи в такива, които имат потенциал да решат социално-икономически проблеми. Според съдържанието на академичния речник на Кеймбридж предприемачът е „човек, който се опитва да реализира печалба, като създава компания или действа самостоятелно в света на бизнеса, особено когато това е свързано с поемане на рискове“. От предходното определение забелязваме, че основният определящ фактор за предприемача е желанието да реализира печалба, дори и при присъщите рискове. В допълнение към този главен фактор предприемачите са мотивирани и от други фактори, като например желанието да бъдат финансово независими, желанието да развият и докажат, че могат да създадат печеливш бизнес, желанието да покрият незадоволени нужди в определени пазарни ниши за себе си или за други хора; желанието да създадат семеен бизнес с участието на други членове на семейството; желанието да имат защитна мрежа, особено по време на криза, когато намирането на работа може да се окаже трудно; желанието да имат контрол и да не са подчинени на други хора; желанието да създадат социални предприятия, които биха могли да

имат положително въздействие върху общността, като помагат на хората и се справят с проблеми като изменението на климата и замърсяването. Stephan et al. (2015 г., стр. 5) провеждат проучване на мотивите да станеш предприемач в Обединеното кралство и резултатите им показват, че „автономността“, „семејството“ и „гъвкавостта“ са други съществени мотивационни фактори, които могат да се разглеждат като съображение в допълнение към традиционните, свързани с финансовите мотиви. Друг критичен аспект на тяхното проучване е, че предприятията, мотивирани от желанието да подкрепят семејството и да имат повече автономия и свобода, имат „по-голям шанс за оцеляване“. Carter et al. (2003, с. 13) смятат, че най-важните причини за започване на бизнес са „личната реализация, финансовият успех, ролите, иновациите, признанието и независимостта“.

Устойчивостта означава „задоволяване на нуждите на настоящето, без да се застрашава способността на бъдещите поколения да задоволяват собствените си нужди“ (ООН, 1987 г.). В този контекст можем да видим, че както предприемачеството, така и устойчивостта са свързани със задоволяване на потребностите. По този начин се появява нова бизнес концепция, особено устойчивите предприятия, които отчитат своето въздействие върху общността и се фокусират върху намаляване на отрицателните последици и създаване на положителни промени, които биха могли да решат някои от проблемите на общността. Икономически и социален съвет на ООН (n.d.) – Икономическият и социален съвет на ООН подчертава трите стълба на устойчивостта: социалният стълб, насочен към хората и тяхното благосъстояние; икономическият стълб, насочен към икономическия растеж и реализирането на печалба; и екологичният стълб, насочен към опазването на планетата и смекчаването на изменението на климата.

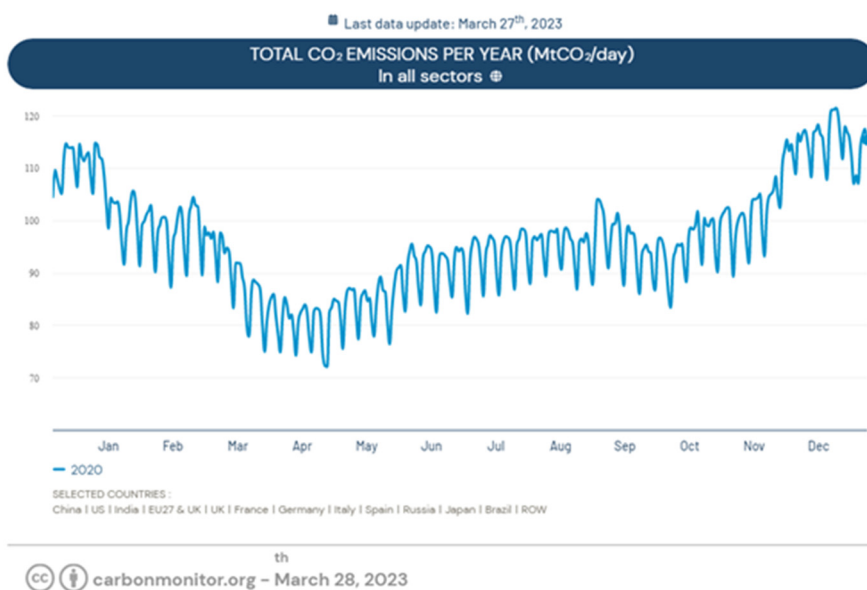
През 2015 г. Организацията на обединените нации определи 17 цели за устойчиво развитие (ЦУР) като част от Програмата до 2030 г. Държавите членки си поставиха цели, които трябва да бъдат постигнати до 2030 г. Тези цели са: ЦУР1 – „Без бедност“; ЦУР2 – „Нула глад“; ЦУР3 – „Добро здраве и благосъстояние“; ЦУР4 – „Качествено образование“; ЦУР5 – „Равенство между половете“; ЦУР6 – „Чиста вода и канализация“; ЦУР7 – „Достъпна и чиста енергия“; ЦУР8 – „Достоен труд и икономически растеж“; ЦУР9 – „Индустрия, иновации и инфраструктура“; ODG10 – „Намаляване на неравенствата“; SDG11 – „Устойчиви градове и общности“; ODG12 – „Отговорно потребление и производство“; ODG13 – „Действия в областта на климата“; ODG14 – „Живот под водата“; ODD15 – „Живот на сушата“; SDG16 – „Мир, справедливост и силни институции“; ODG17 – „Партньорства за постигане на целите“. Физическите лица, предприятията и публичните органи могат да действат в съответствие с горепосочените цели, за да създадат по-устойчив свят за хората и планетата, сега и в бъдеще, за идните поколения. Тези цели за устойчиво развитие имат за цел да решат много проблеми в света, свързани с изкореняването на бедността и глада, опазването на околната среда и създаването на равни права, така че всеки да може да се развива. Разглеждайки внимателно 17-те Цели за устойчиво развитие, забелязваме, че много от тях могат да бъдат свързани с опазването на околната среда, намаляването на въглеродния отпечатък и създаването на равни възможности и права. Например, чрез намаляване на отпадъците и прилагане на принципите на кръговата икономика (нищо не се губи, всичко се трансформира) гладът и бедността (ЦУР1 и ЦУР2) могат да бъдат поне намалени, а да се надяваме, че скоро ще бъдат изкоренени. ЦУР6, ЦУР7, ЦУР12, ЦУР13, ЦУР14 и ЦУР15 са цели, свързани с изменението на климата и необходимостта от опазване на околната среда (въздух, земя и вода). Тези цели могат да бъдат постигнати чрез много местни, национални, регионални или глобални бизнес идеи и инициативи.



Европейският парламент (2023 г.) определя кръговата икономика като „модел на производство и потребление, който включва споделяне, отдаване под наем, повторна употреба, поправка, обновяване и рециклиране на съществуващите материали и продукти възможно най-дълго. По този начин се удължава жизненият цикъл на продуктите“. Предимствата на създаването на кръгова икономика, а също и на нейното популяризиране в обществото са значителни: по-малко отпадъци, повишена ефективност, икономии за потребителите, намалени разходи в дългосрочен план, нови работни места за спецификите на тази икономика; решение на проблема с недостига и високата цена на някои суровини; развитие на нови промишлени сектори и по този начин допринасяне за повишаване на brutния вътрешен продукт.

Замърсяването на въздуха, водата и земята са едни от най-сериозните проблеми, които засягат не само бъдещите поколения, но и всички, които живеят днес, поради многобройните здравословни проблеми, които създават (Световна здравна организация, 1982; Rodrigues and Römkens, 2018; Righi et al., 2005; Little, 2003; Kampa and Castanas, 2008; Европейска агенция по околна среда, 2022). Дишането на замърсен въздух и консумирането на храна, отгледана върху замърсени земи или в замърсени води, са аспекти, от които не можем да избягаме. Трябва да осъзнаем тяхната значимост и да направим всичко възможно, за да намалим отрицателното въздействие, което създаваме като физически лица или предприятия. И тук идва ролята на устойчивите предприятия, които трябва да бъдат насърчавани от потребителите, които биха могли да ориентират своите потребителски навици към отговорни предприятия. Правителствата и частните инициативи (неправителствени организации, предприятия) следва да разработят образователни кампании за повишаване на осведомеността в обществото.

Според Европейската агенция за околната среда (2023 г.) през 2020 г. 238 000 смъртни случая в Европа могат да се дължат на замърсяването на въздуха. 2020 г. е годината, в която всички ограничения, наложени по време на блокирането (март-май, 2020 г.), намаляват замърсяването в световен мащаб, както е показано на фигура 1. През предходната година е имало 364 200 смъртни случая (Европейска агенция по околна среда, 2021 г.).



**Фигура 1.** Еволюция на емисиите на CO<sub>2</sub> през 2020 година.  
Източник: Carbon Monitor (<https://carbonmonitor.org/>)

Според Европейската агенция по околна среда (2019) замърсяването на въздуха е от съществено значение за здравословни проблеми като сърдечносъдови заболявания, рак на белия дроб, тревожност, възпаления, алергии, астма и репродуктивни проблеми. Като се имат предвид тези проблеми, породени от замърсяването на въздуха, правителството и частните участници създадоха сензорни мрежи, за да наблюдават качеството на въздуха и по този начин да предприемат подходящи мерки. В следващия раздел ще бъдат разгледани други частни инициативи, насочени към устойчиви предприятия, които допринасят за един по-чист и по-здравословен свят, като се вземат предвид околната среда, хората и рентабилността (трите стълба на устойчивостта), като в основата им са настоящето и бъдещето. Предимствата на устойчивите предприятия и тяхната роля за обществото като цяло се състоят в увеличаване на конкурентните предимства, по-добри резултати и решения на някои от проблемите, създадени от криза като пандемията COVID-19 (Mattera et al., 2022). Ползата от създаването на конкурентни предимства е жизненоважна и за МСП, за които въздействието може да бъде значително. Cantele и Zardini (2018) показват положителна връзка между устойчивите инициативи и финансовите резултати, опосредствана от конкурентното предимство. По този начин устойчивите предприятия са по-конкурентоспособни и имат по-добри финансови резултати. Rigby и Tager (2008) считат, че устойчивостта е стратегия за растеж на предприятията.

Цели като намаляване на емисиите, намаляване на замърсяването, използване на устойчиви материали и устойчиви партньори носят ползи като:

- по-добър имидж в общността
- привличане на повече клиенти и качествени служители
- по-голяма надеждност за партньорите им
- данъчни облекчения, предоставяни от правителството за насърчаване на това поведение и инициативи
- в дългосрочен план това води до по-високи печалби.

За да бъдат успешни устойчивите предприятия, потребителите трябва да бъдат ориентирани да забелязват тези видове предприятия и да купуват продукти и услуги от тях. Тук идва ролята на образователните кампании, които допринасят за повишаване на нивото на осведоменост в общността, за да има по-образовани, знаещи и отговорни граждани, а оттам и купувачи и предприемачи. Много изследвания в професионалната литература подчертават ролята на образованието за насърчаване на устойчивото развитие в бизнеса и общността като цяло (Calder and Dautremont-Smith, 2009; Rowe, 2007; Hill and Lee, 2012). Hill and Lee (2012) изследват потребителите от поколението Y, чието възприемане на устойчивото развитие се влияе от познанията им по тези въпроси.

За да бъде устойчивият бизнес печеливш и ефективен в дългосрочен план, предприемачите трябва да бъдат креативни (да генерират нови и страхотни идеи) и иновативни (да се фокусират върху новостите и полезността). Устойчивостта и иновативността в бизнеса гарантират по-високи конкурентни предимства, по-големи шансове за оцеляване в криза, лоялност от страна на потребителите и увеличен пазарен дял. Устойчивостта и иновациите в бизнеса са обект на обширни изследвания (Todeschini et al., 2017; Evans et al., 2017; Shakeel et al., 2020; Seebode et al., 2012; Borkovskaya, 2013). Както заявяват Shakeel et al. (2020), „Иновацията на бизнес модела е бъдещето за справяне с предизвикателствата на устойчивото развитие“. Seebode et al. (2012) оценяват, че иновациите са необходими за справяне с „нарастващия натиск и нововъзникващите възможности в програмата за „устойчивост“.

Съществуват много примери за добри практики на иновативни и устойчиви предприятия, които са насочени към решаване на някои от проблемите, посочени в 17-те ЦУР:

- **Bio-bean** (<https://www.bio-bean.com/>) е предприятие от Обединеното кралство, което използва утайка от кафе от различни партньори и ѝ придава стойност. По този начин те я превръщат в дървени трупи и пелети от кафе, естествени ароматизатори на кафе и суровини за множество индустрии, които търсят по-екологични алтернативи за своя бизнес.
- **Fairphone** (<https://www.fairphone.com/>) е холандска компания, която предлага телефони, изработени от рециклирани и устойчиви компоненти. Те имат лесен за ремонт дизайн и поставят хората и планетата на първо място. Справедливостта е основна ценност на техния бизнес.
- **Studio Roosegaarde** (<https://www.studioroosegaarde.net/>) е нидерландска изследователска лаборатория, фокусирана върху създаването на устойчиви проекти като Smog Free Tower, Smog Free Ring и Smog Free Bicycle (насочени към намаляване на замърсяването и почистване на въздуха); Spark (органични фойерверки), Space Waste Lab (почистване на отпадъци от космоса и рециклирането им); Seeing Stars (насочен към повишаване на осведомеността за замърсяването на градската среда); Grow (използва специфична светлина, за да помогне на растенията да растат и да накара хората да се наслаждават на това като форма на изкуство).
- **Eonef** (<http://eonef.com/>) е френска компания, която се занимава с доставката на соларни балони в региони без електричество и балони, оборудвани със сензори и камери за наблюдение на качеството на въздуха или откриване на пожари (Lampoon Magazine, 2023).
- **Groasis** (<https://www.groasis.com/>) е холандска компания, насочена към превръщането на сухите райони в жива земя чрез използване на ефективни технологии, пестене на вода и отчитане на спецификата на тези райони. Някои от техните продукти са Groasis Waterboxx (пести вода и помага на растенията да растат без напояване), Groasis Growboxx (помага на растенията да растат в планински райони), Growsafe Telescoprotexx (предпазва растенията от изяждане от животни), Groasis Capillary Drills (багери, специални за пустинни райони) или Groasis Terracedixx (за по-ефективно използване на дъждовната вода).
- **Demetra** (<https://www.demetrafood.it/>) е италианска компания за хранителни продукти, „решена да намали замърсяващите емисии и да събира отпадъците разделно“.
- **Партньорството „Джон Люис“** (<https://www.johnlewispartnership.co.uk/>) включва две големи търговски вериги в Обединеното кралство – „Джон Люис“ и „Уейтроуз“. Това партньорство обяви през 2020 г. своя „ангажимент за нулеви нетни въглеродни емисии“ за 2050 г. чрез използване на гориво биометан за своите микробуси.
- **Германската фондация за водите** (<https://www.wasserstiftung.de/>) е разработила CloudFisher – технология, която може да превърне мъглата в безопасна питейна вода.
- **Sheep Inc.** (<https://eu.sheepinc.com/>) предлага дрехи, изработени от вълна от овчи ферми в Нова Зеландия. Тяхната кампания „Купи пуловер, осинови овца“ информира хората откъде идват дрехите им. Също така NFC етикетът, който имат всички

дрехи на компанията, може да се използва от потребителите, за да разберат повече подробности за закупените продукти, вълната, овцете, от които идва, фермата на произход и друга информация, която кара хората да осъзнаят какъв е техният въглероден отпечатък (Malachosky, 2022).

- **Rimping**, супермаркет в Тайланд, започна да използва бананови кори за опаковки през 2019 г. като по-устойчив начин за използване на материали, които иначе биха били изхвърлени, и по този начин за намаляване на пластмасата (Nase, 2019).

Светът се сблъсква с много социално-икономически предизвикателства и следователно с многобройни възможности за правителствата, частните организации, НПО и гражданите да действат по-отговорно и устойчиво, за да решат някои от тези проблеми. По същия начин всички 17 ЦУР в Програмата до 2030 г. са възможности, които могат да бъдат превърнати в публични и/или частни инициативи за намаляване на изменението на климата и осигуряване на равни права за всички. Устойчивите предприятия предлагат ползи за своите общности и значителни ползи за компаниите.

Светът на бизнеса се променя, но са необходими и образователни кампании за повишаване на осведомеността относно изменението на климата, глобалното затопляне, бедността, глада и неравенството и за създаване на по-информирани потребители и предприемачи. Всички ние сме отговорни за качеството на околната среда, в която живеем, и имаме задължение към бъдещите поколения да им оставим чист въздух, вода и земя.

Намираме се в ситуация, в която няма радикално решение за пълно спиране на замърсяването на въздуха, но има решения за намаляване на емисиите на определени замърсители на въздуха.

Съгласно Директива (ЕС) № 2016/2284 на Европейския парламент и на Съвета от 14 декември 2016 г. относно намаляването на националните емисии на някои атмосферни замърсители Румъния трябва значително да намали емисиите на NOx (азотни оксиди), VOCs (неметанови летливи органични съединения), SO<sub>2</sub> (серен въглероден диоксид), NH<sub>3</sub> (амоняк) и PM<sub>2,5</sub> (фини прахови частици в суспензия) съответно с 60%, 45%, 88%, 25% и 58% до 2030 г. (в сравнение с 2005 г.).

Можем да се запитаме как тези емисии могат да съществуват във въздуха и какъв е техният произход. Как да бъдем внимателни? Имаме ли свободна воля да не вдишваме тези емисии в тялото си?

Чрез кратка презентация можем да отговорим на горните въпроси:

- NOx (азотни оксиди) се образуват предимно от електроцентралите, превозните средства, както и от промишлените и битовите горивни процеси. Пътният транспорт е основната причина за това;
- ЛОС (летливи органични съединения) – са резултат от бои, лакове, восъци, разтворители за разтваряне на масла, детергенти, горива, дезинфектанти, козметика и лепила; тези съединения могат да се образуват и при пушене и изгаряне на горива;
- SO<sub>2</sub> (серен диоксид) – резултат от отоплителни системи на населението, които не използват метан, топлоелектрически централи, промишлени процеси (стоманодобив, рафинерия, производство на сярна киселина), целулозно-хартиена промишленост;
- NH<sub>3</sub> (амоняк) – основно в резултат на птицеферми и свинеферми;
- PM<sub>2,5</sub> (фини частици в суспензия) – резултат от изгарянето на бензин, нефт, дизелово гориво или дървесина.

И така, знаем как тези емисии съществуват във въздуха и откъде идват, но можем ли да имаме свободната воля да не ги вдишваме?

Според Националната програма за контрол на замърсяването на въздуха Министерството на околната среда, водите и горите има значителна роля в областта на оценката на качеството на атмосферния въздух, тъй като е компетентният орган, който координира разработването и изпълнението, заедно с централните държавни органи, на Националната програма за контрол на замърсяването на въздуха Атмосферно замърсяване. Министерството на околната среда, водите и горите, в сътрудничество със значимите публични органи с отговорности в областта на икономиката, енергетиката, здравеопазването, селското стопанство, развитието на селските райони, санитарно-ветеринарната област и безопасността на храните, регионалното развитие и публичната администрация и транспорта, установява мерки за ежегодно намаляване на националните антропогенни емисии на SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, NH<sub>3</sub> и PM<sub>2.5</sub>, така че да не се надхвърлят поетите на национално равнище ангажименти за намаляване на емисиите. Същата Национална програма за контрол на замърсяването на въздуха удостоверява, че емисиите вече са намалели значително, главно емисиите на SO<sub>2</sub>, които са с около 88% по-ниски през 2020 г. в сравнение с 2005 г., следвани от намаления на емисиите на NO<sub>x</sub> (с около 42%), ЛОС (с около 30%), NH<sub>3</sub> (с около 19%) и PM<sub>2.5</sub> (със 7%). По този начин напредъкът, постигнат благодарение на действащите политики и мерки, оценен като се вземат предвид историческите емисии, докладвани за 2020 г., и референтната 2005 г., показва тенденция към намаляване на емисиите на всички замърсители и спазване на ангажиментите за намаляване на емисиите на ЛОС, SO<sub>2</sub> и NH<sub>3</sub>. През 2020 г. ангажиментите за намаляване на емисиите са надхвърлени за NO<sub>x</sub> (с около 3%) и PM<sub>2.5</sub> (с около 21%).

Това донякъде „звучи“ добре в цифри, но усещането все още не е комфортно; с други думи, нямате онзи електрически импулс в сърцето си, който да ви накара да излезете извън къщата и да вдишате голяма глътка свеж въздух, защото въздухът, който дишаме, е вреден, въпреки всички ангажименти, поети от Румъния. „Поети“, защо имаме чувството, че тази дума не ни защитава на 100%? Напротив, тя създава състояние на безпокойство, но в същото време не можем да не си помислим, че човешката природа през годините е еволюирала, но не и да предполага, че инстинктът за оцеляване е над всичко.

С развитието си човечеството постепенно е опознало вредните последици, като се започне от катастрофалния опит в Лондон между 5 и 9 декември 1952 г., когато е имало силно замърсяване на въздуха, наречено „Големият смог от 1952 г.“ Когато отоплението на домовете е било базирано предимно на въглища, изгорелите газове заедно с мъглата са образували слой смог, явление, поради което са починали повече от 4000 души (от сърдечносъдови и респираторни заболявания). В резултат на този катастрофален опит през 1956 г. е приет Законът за чистотата на въздуха, който има за цел да намали замърсяването на въздуха в големите британски градове.

Друг пример е инцидент във фабрика за пестициди близо до Севезо в Северна Италия. При нея в атмосферата е изпуснат облак от диоксин – опасно вещество, известно с канцерогенното си действие дори в малки дози. За съжаление, засегнатият район с площ от 18 km<sup>2</sup> е бил жилищен; по този начин 37 000 души са се сблъскали със замърсения въздух. Бедствието е толкова голямо, че по-късно Съветът на Европа издава уникална директива, така наречената „Директива Севезо“, която въвежда строги правила за производството и съхранението на около 80 вещества, считани за много опасни.

Не можем да не си спомним и за друго катастрофално бедствие, известно на цялото население, а именно Чернобилската катастрофа, когато един от реакторите на Чернобилската електроцентра в Украйна се взриви, изпускайки в атмосферата огромно количество радиация, по-значителна от бомбите в Хирошима и Нагасаки.

И накрая, в Румъния пример за катастрофално бедствие е това в Копса Миче, когато градът е погребан от замърсяване. В Копса Мице имаше две фабрики; едната произвеждаше черен въглерод, използван в гумите, а другата – цинк, олово, мед, кадмий и други цветни метали. Заедно те изхвърлят 30 000 тона твърди частици и сажди всяка година.

Човечеството наистина се нуждае от електроцентрали, автомобилен транспорт, пеприлни препарати, дезинфектанти, стомана, рафинерии и дори птицеферми и свинеферми и т.н., но как можем да се справим с нуждата от всички тези основни неща за нашето съществуване, без да засягаме околната среда, без да замърсяваме въздуха и без да засягаме нас, хората?

От 16 март 2023 г. – Промисленият план „Зелена сделка“ (често наричан Европейски промишлен план) е инициатива на Европейския съюз (ЕС) и подкрепя прехода към неутралност по отношение на климата чрез повишаване на конкурентоспособността на европейската промишленост с нулеви нетни емисии. През март бяха представени три от основните предложения на този план: Закона за европейските критични суровини, Закона за промишлеността с нулеви емисии и реформата на организацията на пазара на електроенергия. Те ще подпомогнат плана, като създадат по-проста и предвидима регулаторна среда за чистите технологии, така че те да започнат или да продължат да се развиват в ЕС. Ползите от европейския зелен курс осигуряват подкрепа за чист въздух, чиста вода, здрава почва и биоразнообразие; обновени, енергийно ефективни сгради; здравословна храна на достъпни цени; повече възможности за обществен транспорт; по-чиста енергия и чисти, авангардни технологични иновации; по-устойчиви продукти, които могат да се поправят, рециклират и използват повторно; работни места, адаптирани към изискванията на бъдещето, и обучение на умения, необходими за преход към устойчива и конкурентоспособна в световен мащаб индустрия.

Природата на хората с течение на времето е да се развиват, да искат да направят съществуването си по-безпроблемно и да правят велики неща, които не само помагат на нас, но и на околната среда, в която живеем. Не можем да не се запитаме дали има правна рамка по отношение на качеството на въздуха, дали обществеността знае информация или събрани данни за качеството на заобикалящия въздух или дали Румъния спазва споразумения, конвенции или договори, по които е страна.

Като правна рамка по отношение на качеството на въздуха, европейските регламенти са напълно транспонирани в националното законодателство чрез приемането на Закон № 104/2011 за качеството на атмосферния въздух, с последващи изменения и допълнения (предвидени в ДВ № 806/2016 за изменение на приложения №. 4, 5, 6 и 7 към Закон № 104/2011 относно качеството на атмосферния въздух. В съответствие с разпоредбите на чл. 2 от Закон № 104/2011 за качеството на атмосферния въздух, „този закон предвижда мерки на национално ниво по отношение на:

- определяне и установяване на цели за качеството на заобикалящия въздух, предназначени за избягване и предотвратяване на появата на вредни явления и намаляване на тяхното въздействие върху човешкото здраве и околната среда като цяло;
- оценка на качеството на околния въздух в цялата страна въз основа на стандартни методи и критерии, установени на европейско равнище;
- получаване на информация за качеството на околния въздух с цел подпомагане на процеса на борба със замърсяването на въздуха и причинения от него дискомфорт, както и за наблюдение на дългосрочните тенденции и подобренията в резултат на предприетите мерки на национално и европейско равнище;

- гарантиране, че информацията за качеството на атмосферния въздух е достъпна за обществеността;
- поддържане на качеството на околния въздух, когато това е целесъобразно, и/или подобряването му в други случаи;
- насърчаване на засиленото сътрудничество с другите държави-членки на Европейския съюз за намаляване на замърсяването на въздуха;
- изпълнение на задълженията, поети от споразуменията, конвенциите и международните договори, от които Румъния е част".

Също така, съгласно разпоредбите на чл. 55, параграф 1 от Закон № 104/2011 „ако някой от алармените прагове, пределно допустимите стойности или целевите стойности са превишени, плюс съответната граница на допустимо отклонение или дългосрочната цел, в резултат на трансграничен пренос на атмосферни замърсители или техни прекурсори, централният публичен орган за опазване на околната среда си сътрудничи пряко с партньорския орган от съседните държави – членки на Европейския съюз, или чрез централния публичен орган за изпълнение на външната политика на румънската държава с партньорския орган от съседните държави, които не са членки на Европейския съюз, и когато е целесъобразно, установява съвместни действия, като например разработване на съвместни или свързани планове за качеството на въздуха, за отстраняване на тези превишения чрез прилагане на подходящи мерки, които не са свързани с непропорционални разходи, не на последно място, параграф 4 на чл. 55 от Закон № 104/2011 уточнява, че „в случай на превишаване на информационния праг и/или алармения праг в район или агломерация в близост до границата, централният държавен орган за опазване на околната среда информира възможно най-бързо компетентните органи от съответните съседни държави – членки на Европейския съюз“.

Изхождайки от желанието да има нещо осезаемо, да се види в цифри, да се види диаграма, да се видят конкретни и верни данни, Университетът в Крайова, Департамент по естествени науки в партньорство с Университета за наука и технологии Адана Тюркеш Алпарслан, Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“ и Университета „Матей Бел“ в Банска Бистрица в рамките на проект „Прилагане на съвременни технологии в обучението и изследванията на замърсяването на въздуха“ по програма „Еразъм+“ предлага на студентите възможност да научат как да изградят сензор за мониторинг на въздуха, както и какво представляват тези сензори и как могат да привлекат вниманието към качеството на въздуха.

Сензорите за наблюдение на качеството на въздуха ни помагат както на физическите лица (тъй като можем да закупим такъв сензор и за дома си), така и на юридическите лица (като например публичните институции); по този начин можем да имаме представа за качеството на въздуха и защо не, ако един ден качеството на въздуха не е чисто, би било идеално да избягваме да излизаме от къщи този ден или да уведомим компетентните органи. Създаването и съществуването на тези сензори в ежедневието ни е наложително предвид високата степен на замърсяване на въздуха, с която се сблъскваме.

Тази лабораторна книга представя идеите на учители, свързани с преподаването, за ролята на технологиите в процеса на преподаване и учене. Тя е и обмен на добри практики и идеи на някои хора, участващи в обучението на студенти по инженерни и природонаучни дисциплини от четири университета – УКр, ПУ, УМБ и АТУ.

Книгата има за цел да помогне на учениците да се запознаят с някои технологии, насочени към околната среда (замърсяване на въздуха). Лабораторната работа показва как да се направи сензор, като се започне от някои електронни компоненти, как

да се програмира, да се свърже към мрежа и как сензорът предава данни към голяма независима от сензора мрежа. Също така лабораторната книга представя как да се изтеглят данните, получени от всеки сензор, как данните могат да бъдат организирани и визуализирани и как учениците могат да анализират получения набор от данни. Знанията, особено експерименталните умения, са от съществено значение за бъдещите инженери и завършващите естествени науки.

В глава 1 е направено кратко описание на комплект сензори, които могат да измерват температурата на въздуха. В тази глава са разгледани ролята и мястото на всеки компонент. Втората глава е посветена на практическото осъществяване на някои дейности, базирани на сензори за слънчева радиация. В нея е показано как да се свържат електронните компоненти към основната платка, съдържаща микроконтролер от типа Arduino. Оценени са някои образователни възможности в това отношение. Третата глава предлага няколко дейности, основани на сензор за нивото на звука. Четвърта глава е посветена на това как се прави GM брояч и как можем да се предпазим от въздействието на радиацията. В пета глава е представена метеорологична станция, а в шеста – сензор за наблюдение на качеството на въздуха.

В глава 7 се разглеждат предизвикателствата, свързани с 3D принтирането на щит, който да предпазва сензора от атмосферните влияния. В глави 8, 9 и 10 ще бъде обсъдена ролята на независимата сензорна мрежа в рамките на образователни инициативи в полза на гражданите, като се изтъкват предимствата на сензорите и ограниченията на измерванията при обучението на бъдещите инженери и завършващите естествени науки, като се сравняват лабораторните методи за измерване с помощта на сензори с измерванията, извършвани от някои официални станции за мониторинг на качеството на въздуха. В тези глави е описана процедурата за изтегляне и обработка на събраните данни с примера на проучване от Адана.

В тази книга за лабораторни дейности се споделят идеите на преподавателите за това как учениците могат да учат, като изследват и правят. Тази книга съдържа кратко описание на някои комплекти от сензори. Всяко лабораторно занимание има теоретична част, в която са обяснени понятията, необходими за разбирането на всяка лабораторна работа, целта, задачите, кратко описание на оборудването, което се използва, настройката, предприетите стъпки, начинът на работа, предупреждения, свързани с редица опасности, които могат да възникнат при използването на устройствата, събирането на данни, анализът на данните, връзката с реалния живот, предизвикателствата и заключенията.

### **Литературни източници**

1. Bio-bean. Available online at <https://www.bio-bean.com/> (Последно посещаван на 23 март 2023)
2. Borkovskaya, V. G. (2013). The Concept of Innovation for Sustainable Development in the Construction Business and Education. *Applied Mechanics and Materials*, 475–476, 1703–1706. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1703>
3. Calder, W., & Dautremont-Smith, J. (2009). Higher education: More and more laboratories for inventing a sustainable future. *Agenda for a sustainable America*, 93-107. Налично онлайн на <http://ulsf.org/wp-content/uploads/2015/06/ESDHigherEdAmericaCalder20091.pdf> (Последно посещаван на 31 март 2023)



4. Cambridge Academic Dictionary Content (n.d.). Entrepreneur Definition. Available online at <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/entrepreneur> (Последно посещаван на 25 март 2023)
5. Cantele, S., & Zardini, A. (2018). Is sustainability a competitive advantage for small businesses? An empirical analysis of possible mediators in the sustainability–financial performance relationship. *Journal of cleaner production*, 182, 166–176.
6. Carbon Monitor. CO2 emissions in 2020. Налично онлайн на <https://carbonmonitor.org/> (Последно посещаван на 29 март 2023)
7. Carter, N. M., Gartner, W. B., Shaver, K. G., & Gatewood, E. J. (2003). The career reasons of nascent entrepreneurs. *Journal of Business Venturing*, 18(1), 13–39. [https://doi.org/10.1016/S0883-9026\(02\)00078-2](https://doi.org/10.1016/S0883-9026(02)00078-2)
8. Demetra. Налично онлайн на <https://www.demetrafood.it/> (Последно посещаван на 23 март 2023)
9. Eonef. Налично онлайн на <http://eonef.com/> (Последно посещаван на 23 март 2023)
10. Evans, S., Vladimirova, D., Holgado, M., Van Fossen, K., Yang, M., Silva, E. A., & Barlow, C. Y. (2017). Business model innovation for sustainability: Towards a unified perspective for creation of sustainable business models. *Business strategy and the environment*, 26(5), 597–608.
11. European Environment Agency (2019). Healthy environment, healthy lives. Налично онлайн на <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives> (Последно посещаван на 29 март 2023)
12. European Environment Agency (2021). Air quality in Europe 2021. Health impacts of air pollution in Europe, 2021. Налично онлайн на <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/health-impacts-of-air-pollution> (Последно посещаван на 29 март 2023)
13. European Environment Agency (2022). Air pollution: how it affects our health. Налично онлайн на <https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution> (Последно посещаван на 29 март 2023)
14. European Environment Agency (2023). Air quality in Europe 2022. Налично онлайн на <https://www.eea.europa.eu//publications/air-quality-in-europe-2022> (Последно посещаван на 29 март 2023)
15. European Parliament (2023). Circular economy: definition, importance, and benefits. Налично онлайн на <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits> (Достъпен на 28 март 2023)
16. Fairphone. Налично онлайн на <https://www.fairphone.com/> (Последно посещаван на 31 март 2023)
17. German Water Foundation. Налично онлайн на <https://www.wasserstiftung.de/> (Последно посещаван на 31 март 2023)
18. Groasis. Налично онлайн на <https://www.groasis.com/> (Последно посещаван на 31 март 2023)
19. Hill, J., & Lee, H. H. (2012). Young Generation Y consumers' perceptions of sustainability in the apparel industry. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 16(4), 477–491.
20. John Lewis Partnership. Налично онлайн на <https://www.johnlewispartnership.co.uk/> (Последно посещаван на 31 март 2023)

21. Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, 151(2), 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>
22. Lampoon Magazine (2023). EONEF's tethered balloons: air quality monitoring, wildlife conservation and forest fire detection. Налично онлайн на <https://www.lampoonmagazine.com/article/2023/02/12/eonefs-tethered-balloons-air-quality-monitoring-wildlife-conservation-and-forest-fire-detection/> (Последно посещаван на 31 март 2023)
23. Little, M. P. (2003). Risks associated with ionizing radiation: Environmental pollution and health. *British medical bulletin*, 68(1), 259–275. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg031>
24. Malachosky, E. (2022). Buy a Sweater, Adopt a Sheep. Налично онлайн на <https://www.gearpatrol.com/style/a38831352/merino-wool-sheep-inc/> (Последно посещаван на 31 март 2023)
25. Mattera, M., Alba Ruiz-Morales, C., Gava, L., & Soto, F. (2022). Sustainable business models to create sustainable competitive advantages: strategic approach to overcoming COVID-19 crisis and improve financial performance. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 32(3), 455–474.
26. Nace, T. (2019). Thailand Supermarket Ditches Plastic Packaging For Banana Leaves. Налично онлайн на <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2019/03/25/thailand-supermarket-uses-banana-leaves-instead-of-plastic-packaging/> (Последно посещаван на 31 март 2023)
27. Rigby, D., & Tager, S. (2008). Learning the advantages of sustainable growth. *Strategy & Leadership*, 36(4), 24–28.
28. Righi, S., Lucialli, P., & Bruzzi, L. (2005). Health and environmental impacts of a fertilizer plant—Part I: Assessment of radioactive pollution. *Journal of environmental radioactivity*, 82(2), 167–182. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2004.11.007>
29. Rodrigues, S. M., & Römken, P. (2018). Human health risks and soil pollution. In *Soil Pollution* (pp. 217–250). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00009-1>
30. Rowe, D. (2007). Education for a sustainable future. *Science*, 317(5836), 323–324.
31. Seebode, D., Jeanrenaud, S., & Bessant, J. (2012). Managing innovation for sustainability. *R&d Management*, 42(3), 195–206. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2012.00678.x>
32. Shakeel, J., Mardani, A., Chofreh, A. G., Goni, F. A., & Klemeš, J. J. (2020). Anatomy of sustainable business model innovation. *Journal of cleaner production*, 261, 121201. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121201>
33. Sheep Inc. Налично онлайн на <https://eu.sheepinc.com/> (Последно посещаван на 25 март 2023)
34. Stephan, U., Hart, M., Mickiewicz, T., & Drews, C. C. (2015). Understanding motivations for entrepreneurship. Налично онлайн на [https://publications.aston.ac.uk/id/eprint/25296/1/Understanding\\_motivations\\_for\\_entrepreneurship.pdf](https://publications.aston.ac.uk/id/eprint/25296/1/Understanding_motivations_for_entrepreneurship.pdf) (Последно посещаван на 25 март 2023)
35. Studio Roosegaarde. Налично онлайн на <https://www.studio Roosegaarde.net/> (Последно посещаван на 31 март 2023)
36. Todeschini, B. V., Cortimiglia, M. N., Callegaro-de-Menezes, D., & Ghezzi, A. (2017). Innovative and sustainable business models in the fashion industry: Entrepreneurial drivers, opportunities, and challenges. *Business Horizons*, 60(6), 759–770. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.07.003>

37. United Nations (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Налично онлайн на <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (Последно посещаван на 27 март 2023)
38. United Nations (n.d.). Sustainable Development. Available online at <https://www.un.org/ecosoc/en/sustainable-development> (Последно посещаван на 27 март 2023)
39. World Health Organization (1982). Rapid assessment of sources of air, water, and land pollution. Geneva, Switzerland.
40. [https://ro.wikipedia.org/wiki/Marele\\_Smog\\_din\\_1952](https://ro.wikipedia.org/wiki/Marele_Smog_din_1952) (Последно посещаван на 7 април 2023)
41. [https://www.manager.ro/articole/afla-67/analizele-managerro-cele-mai-mari-catastrofe-ecologice-produse-de-mana-omului-norul-de-dioxina-din-italia-\(iv\)-8516.html](https://www.manager.ro/articole/afla-67/analizele-managerro-cele-mai-mari-catastrofe-ecologice-produse-de-mana-omului-norul-de-dioxina-din-italia-(iv)-8516.html) (Последно посещаван на 7 април 2023)
42. <https://www.digi24.ro/stiri/sci-tech/natura-si-mediu/cele-mai-mari-catastrofe-ecologice-din-romania-si-din-lume-993038> (Последно посещаван на 7 април 2023)
43. <https://adevarul.ro/stiri-locale/hunedoara/secretele-oraselor-toxice-din-romania-comunista-2027764.html> (Последно посещаван на 7 април 2023)
44. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_ro](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_ro) (Последно посещаван на 7 април 2023)
45. <https://lege5.ro/App/Document/gi2tamjzga/legea-nr-104-2011-privind-calitatea-aerului-inconjurator> (Последно посещаван на 7 април 2023)

# ГЛАВА 1. ВИСОКОПРЕЦИЗНО ИЗМЕРВАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ВЪЗДУХА С ПОМОЩТА НА СЕНЗОР RTD PT100

Тази глава е написана от Румен Попов от Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“, България.

## 1.1. Теория

### 1.1.1. Измерване на температурата с помощта на RTD

Принципът на действие на съпротивителния температурен детектор (RTD) се основава на свойството на електропроводимите материали да променят електрическото си съпротивление [1] при промяна на температурата. Чистите метали са намерили най-широко приложение за направата на RTD. Формулата определя тяхното специфично съпротивление  $\rho$ :

$$\rho = \frac{1}{n_e \mu_e}, \quad (1)$$

където

$n_e$ ,  $m^{-3}$  е броят на свободните електрони на единица обем;

$e$ , C е зарядът на електрона;

$\mu_e$ ,  $m^2/Vs$  – подвижността на електроните, числено равна на скоростта, която те биха имали в електрическо поле с единичен интензитет.

Специфичното съпротивление  $\rho$  на металите е сравнително малко – от  $10^{-10}$  до  $10^{-5} \Omega m$ . Това се дължи на високата концентрация на електрони, която не зависи от температурата.

При всички температури  $\rho$  зависи от флукуациите на кристалната решетка и се определя от подвижността на електроните и наличието на примеси. Следователно специфичното съпротивление на чистите метали може да се представи във вида

$$\rho = \rho_0 + \rho(T), \quad (2)$$

където  $\rho_0$  не зависи от температурата.

### 1.1.2. RTD за благородни метали

Тези термометри (RTD) се използват широко в практиката поради високата стабилност на параметрите им и високата възпроизводимост на резултатите от измерванията. Основно приложение намират платината за температури от 10 до 1200 K и титанът за ниски температури.

Платината до 1800 K не влиза в химични реакции и запазва свойствата си. Поради влиянието на няколко процеса – дифузия, промяна на структурата и т.н., приложението на платинени RTD в някои среди е ограничено до по-ниски температури (1200 °C). Платината има относително високо съпротивление. Зависимостта на съпротивлението  $R_\theta$  от температурата  $\theta$  в сравнително широк температурен диапазон (за температури над 0 °C) се описва достатъчно точно с формулата на Календер

$$R_\theta = R_0(1 + A\theta + B\theta^2), \quad (3)$$

където  $R_0$  е съпротивлението на  $0^\circ\text{C}$ ,  $A$  и  $B$  са константи, които обикновено се определят от съпротивленията на термисторите, измерени в три референтни точки от международната температурна скала.

В съответствие с БДС 10726-73, константите  $A$  и  $B$  се определят чрез измерване на съпротивлението в тройната точка на водата  $\theta_{tp} = 0,01^\circ\text{C}$ , точката на кипене на водата  $\theta_k = 100^\circ\text{C}$  и точката на втвърдяване на цинка  $\theta_{zn} = 419,58^\circ\text{C}$ .

При температури от  $0$  до  $-200^\circ\text{C}$  зависимостта на съпротивлението  $R_\theta$  от температурата  $\theta$  се описва с формулата

$$R_\theta = R_0[1 + A\theta + B\theta^2 + C(\theta - 100)\theta^3] \quad (4)$$

Тук константите  $A$  и  $B$  са както в уравнение (3), а константата  $C$  е определена при температура на кипене на кислорода  $\theta_{O_2} = -182,97^\circ\text{C}$ . Съгласно БДС 10713-73 константите могат да имат стойности  $A = (3,90785 \div 3,9685) \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $B = - (5,875 \div 5,85) \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ ,  $C = 4,2 \cdot 10^{-12} \text{ }^\circ\text{C}^{-4}$ .

За преобразуването на прецизните термометри стойностите на разглежданите константи трябва да се определят индивидуално. От уравнение (4) се получава съответно

$$A = \frac{(R_k - R_0)\theta_{zn}^2 - (R_{zn} - R_0)\theta_k^2}{R_0\theta_k\theta_{zn}(\theta_{zn} - \theta_k)}, \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \quad (5)$$

$$B = \frac{(R_k - R_0)\theta_{zn} - (R_{zn} - R_0)\theta_k}{R_0\theta_k\theta_{zn}(\theta_{zn} - \theta_k)}, \text{ }^\circ\text{C}^{-2} \quad (6)$$

$$C = \frac{R_{O_2} - R_0 - AR_0\theta_{O_2} - BR_0\theta_{O_2}^2}{R_0\theta_{O_2}^3(\theta_{O_2} - 100)}, \text{ }^\circ\text{C}^{-4} \quad (7)$$

където  $R_k$ ,  $R_{zn}$ , and  $R_{O_2}$  са съпротивленията при температурата на кипене на водата  $\theta_k$ , на втвърдяване на цинка  $\theta_{zn}$ , и на кипене на кислорода  $\theta_{O_2}$ , съответно.

Температурата  $\theta_k$  може да се различава от  $100^\circ\text{C}$  в зависимост от атмосферното налягане, надморската височина и географската ширина. Тогава съпротивлението  $R_{100}$  при температура  $100^\circ\text{C}$  се получава от

$$R_{100} = R_k + (R_k - R_0) \frac{100 - \theta_k}{\theta_k} - 5,83 \cdot 10^{-5} R_0 (100 - \theta_k). \quad (8)$$

Съпротивлението  $R_0$  при  $0^\circ\text{C}$  се определя или чрез измерване на съпротивлението на RTD при температурата на топене на леда, или чрез специално устройство, възпроизвеждащо тройната точка на водата  $\theta_t = 0,01^\circ\text{C}$ . В последния случай (ако се изисква повишена точност) е необходимо да се намали полученото съпротивление  $R_{tr}$  съгласно израза

$$R_0 = R_{tr}(1 - 3,93 \cdot 10^{-5}). \quad (9)$$

В практически важния случай, когато  $R_\theta$  е известно, температурата на тока  $\theta$  може да се определи чрез уравнение (10), като се използва сумата от двата компонента  $\theta_1$  и  $\theta_\Delta$  уравнения (11) и уравнение (12):

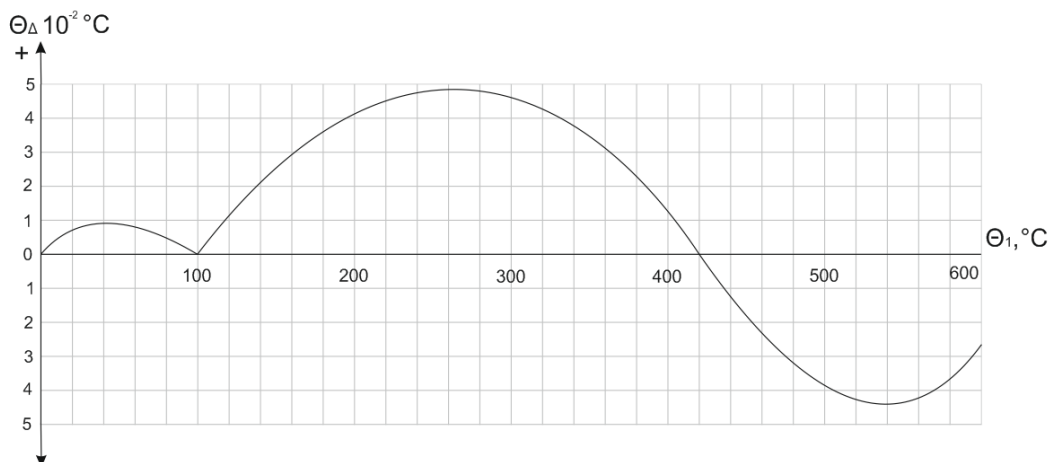
$$\theta = \theta_1 + \theta_\Delta \quad (10)$$

$$\theta_\Delta = 0,045 \frac{\theta}{100} \left( \frac{\theta}{419,58} - 1 \right) \left( \frac{\theta}{630,74} - 1 \right), \quad (11)$$

$$\theta_1 = \frac{2 \left( \frac{R_\theta}{R_0} - 1 \right)}{A + \sqrt{A^2 + \left( \frac{R_\theta}{R_0} - 1 \right) \cdot 4B}} \pm \theta_\Delta, \quad (12)$$

където  $A = 3,9083 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  и  $B = -5,775 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ .

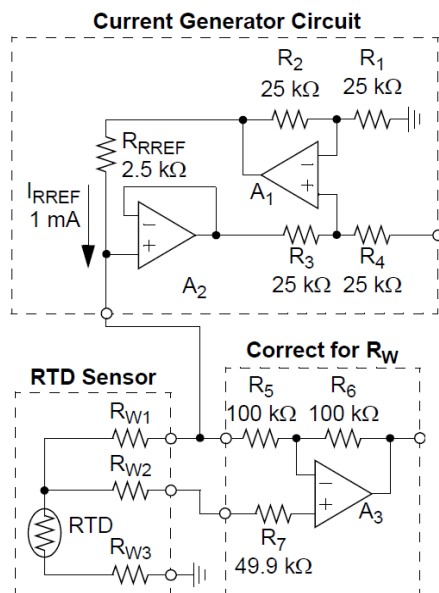
На фиг. 1 е показана графично стойността на тази корекция в зависимост от температурата, изчислена по (12).



Фигура 1. Зависимост на корекцията  $\theta_{\Delta}$  от измерената температура

### 1.1.3. Преобразувател на сигнали PRTD

Microchip Technology предлага евтино решение (фиг. 2) на PRTD сигналния преобразувател, използвайки операционен усилвател MCP609 с ниска консумация на енергия, с едно захранване и с функция „от релса до релса“ [2]. Генератор на ток, реализиран от A1, A2 и прецизен източник на напрежение, възбужда сензора. Операционният усилвател (A3) анулира грешката  $R_W$  на съпротивлението на проводника.



Фигура 2. Преобразувател на RTD сигнал с помощта на оп-усилвател, източник [2]

Конструкцията, показана на фиг. 2, е използвана за разработване на секцията за кондициониране на RTD сигнала на разширителната карта. Основните причини за това са ниската цена, простата структура и гъвкавата модулна конструкция. Всеки от четирите аналогови входни канала на DAQ-платката е мултиплексиран по 8, като се използват два отделни мултиплексора, един за превключване на източника на ток към възбуждането на RTD и друг за превключване на изходното напрежение към аналоговия входен канал на DAQ-платката.

Структурата на осемканалния мултиплексиран преобразувател на сигнали, описана по-горе, е напълно подходяща за платката LabJack UE9 DAQ.

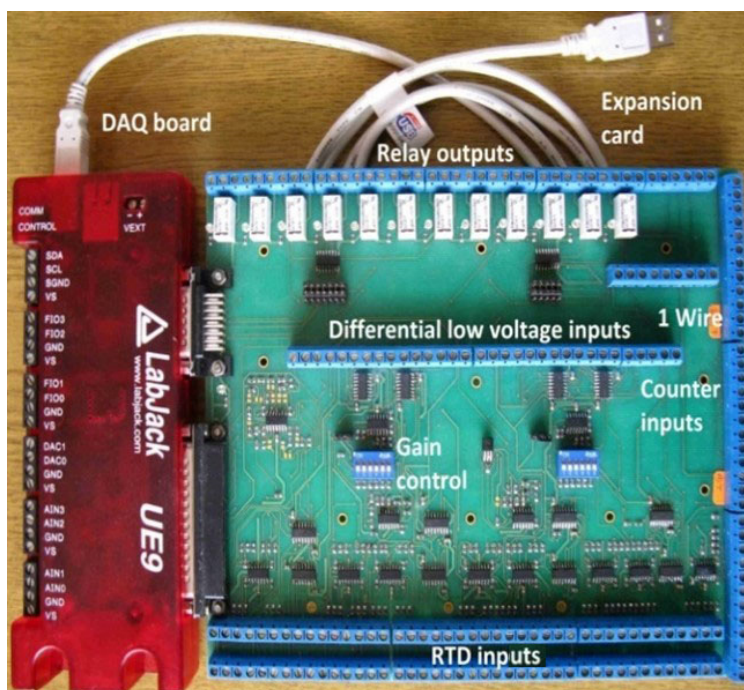
#### 1.1.4. Платка за събиране на данни (DAQ)

Големият брой измервателни точки изисква използването на многоканален инструмент. За тази цел е разработена „Карта за разширение“. Тя позволява (фиг. 3) да се разшири броят на аналоговите канали, предоставени от нашата DAQ-платка LabJack UE9 [3], както е посочено по-долу:

- 32 температурни канала Pt100 3-проводникови RTD;
- 16 диференциални входни канала за ниско напрежение (за постоянни токове, инструменти за слънчева радиация, термодвойки и др.);
- До 128 температурни сензора DS1820 или сензори за влажност (1-проводен интерфейс);
- 10 входни канала за постоянно напрежение (за ACV, АСА измервателни изходи);
- 8 входа за броячи (за дебитомери и електромери).

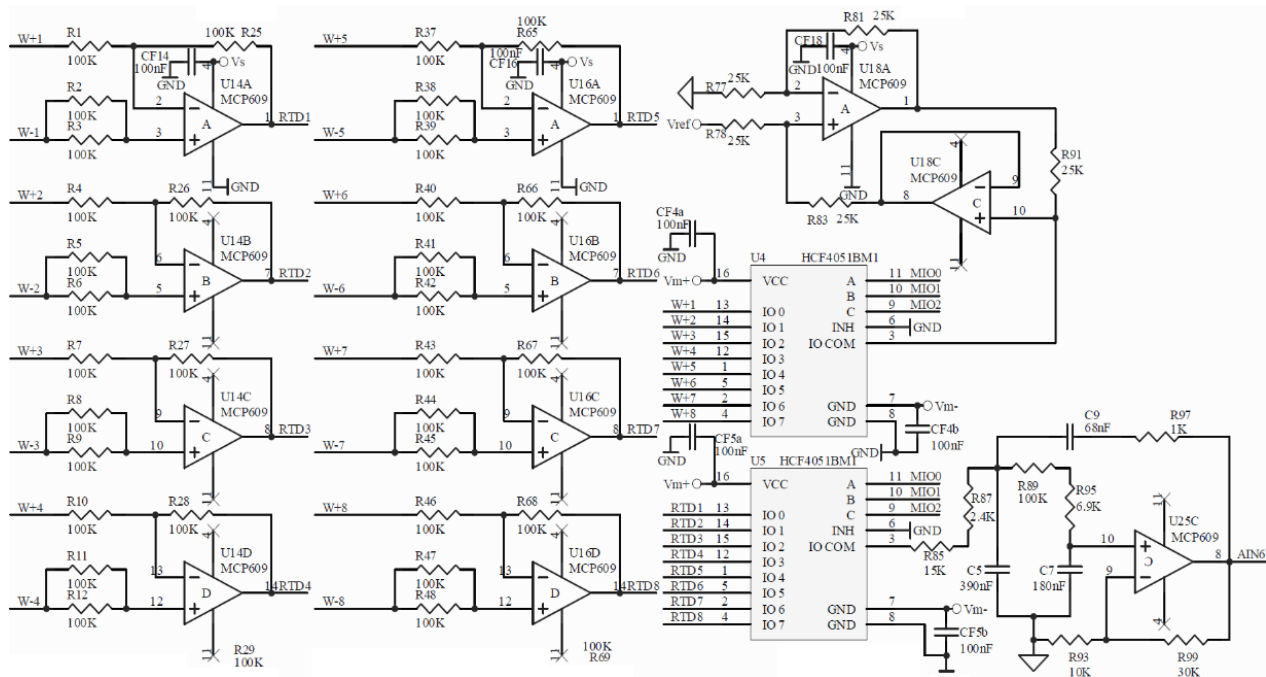
Освен това са налични 12 релейни и 8 TTL-изхода за управление на товари.

3-проводният фронт на RTD е свързан към четирите съществуващи аналогови канала за напрежение на DAQ чрез 8-кратно мултиплексиране, за да се получат 32 RTD канала. На фиг. 4 е представена схема на една от четирите електронни секции, свързани към аналоговия входен канал AIN6 на платката DAQ. Разширителната карта се състои от още три идентични електронни секции, свързани към каналите AIN7, AIN8 и AIN9 на платката Lab Jack UE9.



Фигура 3. Разширителна карта и DAQ платка

Броят на компонентите е сведен до минимум, като е използван само един източник на ток за възбуждане на осемте RTD сензора Pt100 (общо четири в проектираната платка). Също така само един източник на напрежение 2,5 V осигурява референтно напрежение за всички 32 кондicionера на RTD сигнали, монтирани на платката.



Фигура 4. Схема на една от електронните секции на 8-каналния преобразувател на сигнали

Два евтими осемканални мултиплексора формират комутационната мрежа. Когато е отворен, токът, генериран от източника на възбуждащ ток, не зависи от съпротивлението на превключвателя HCF4051 U4. Двата мултиплексора се захранват от двуполлярно захранване  $\pm 6,3\text{ V}$  ( $V_{m-}$  и  $V_{m+}$ ), достъпно от LabJack UE9, за да се осигури целият диапазон на превключваното напрежение. Входният канал се адресира с помощта на три сигнала (MIO0, MIO1 и MIO2), генерирани автоматично от DAQ-платката и софтуера, налични в адресното поле на драйвера на LabJack UE9 на National Instruments LabVIEW.

Сигналят на изходното напрежение на мултиплексора U5 (IO COM) на извод № 3 се филтрира с нискофреkwотен филтър от 2-ри ред на Сален-Кей. Този филтър е с коефициент на усилване 7,47 V/V и с честота на прекъсване 8 Hz. Той е подходящ само ако се използват ниски честоти на дискретизация. Ако честотата на дискретизация надхвърля 0,33 Hz, кондензаторите C5, C7 и C9 трябва да се отстранят, за да се осигури възможност за бързо превключване. В този случай се извършва допълнително софтуерно филтриране.

### 1.1.5. Изчисляване на съпротивлението на RTD

Стойността на съпротивлението на RTD  $R_{\theta}$  зависи от текущото показание на платката LabJack UE9 DAQ. Тя се изчислява по уравнение (13).

$$R_{\theta} = (U_{IN\_UE9} * 213.79) / (3.4), \quad (13)$$

където  $U_{IN\_UE9}$  е текущото показание на напрежението на платката LabJack UE9 DAQ. Стойността на  $R_{\theta}$  се поставя в уравнение (11), за да се изчисли температурата.

## 1.2. Лабораторна конфигурация

### 1.2.1. Конфигурация на хардуера

Лабораторната конфигурация е представена на фигура 5 и се състои от следните компоненти

- DAQ-платка LabJack UE9;



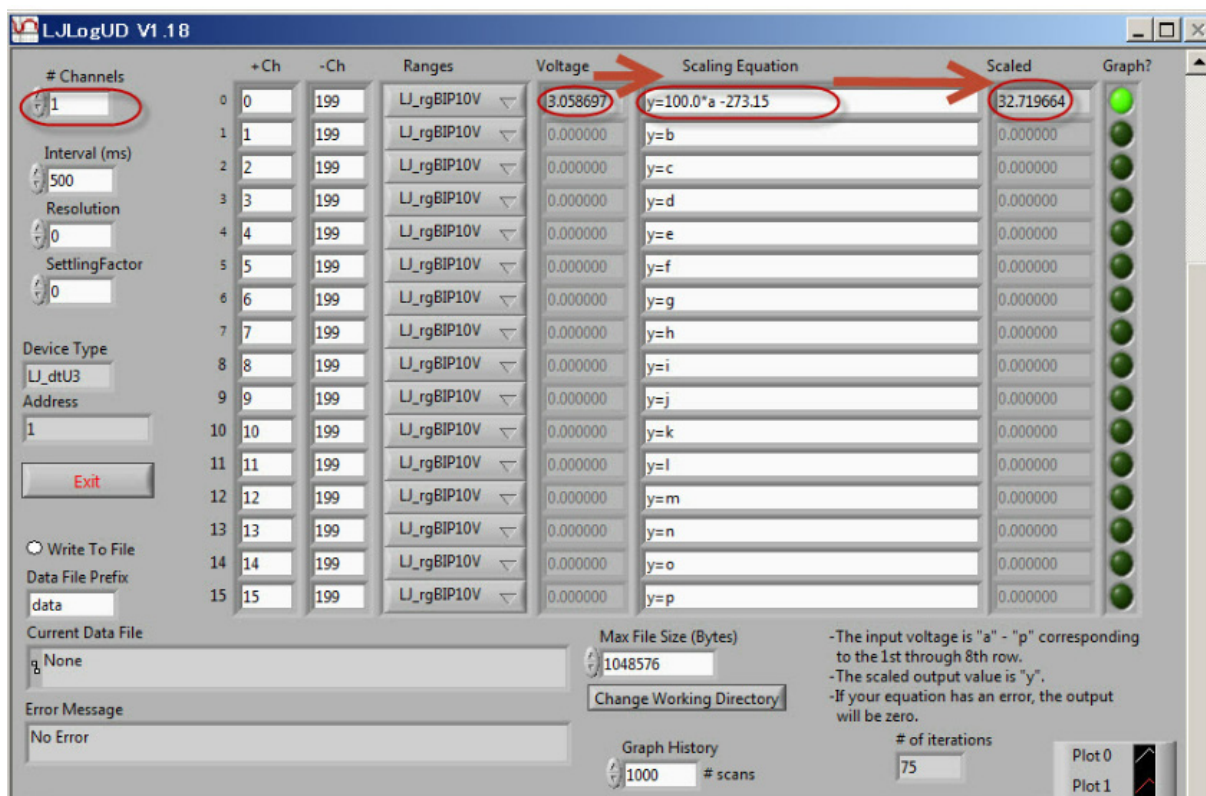
- Разширителна карта;
- 3-проводен температурен датчик RTD Pt 100, свързан към канал RTD 1 на разширителната карта;
- КОМПЮТЪР;
- USB кабел.



Фигура 5. Лабораторна тестова установка

### 1.2.2. Софтуерно приложение

Софтуерното приложение за регистриране на данни LJLogUD (фиг.6) събира данните от измерванията и съхранява резултатите. То също така позволява предварителна обработка на данните от измерванията с помощта на прости потребителски уравнения.



Фигура 6. Софтуерно приложение LJLogUD

### 1.3. Задачи

1. Свържете всички компоненти на лабораторната изпитвателна инсталация (фиг. 5);
2. Стартирайте софтуерното приложение и конфигурирайте параметрите на измерването, като зададете потребителското уравнение за измерване на  $R_{\theta}$ ;
3. Стартирайте измерването и запазете резултатите (около 20 проби);
4. Имортирайте данните (.csv формат) в работен лист на Excel и използвайте уравнения (10), (11), (12) и (13) за изчисляване на температурата на въздуха;
5. Създайте графика на промяната на температурата за определен период от време;
6. Напишете доклад.

### Литературни източници

- [1] Куртев И., к.т.н. инж. Д. Самоловлийски, Измерване на температура, Държавно издателство „Техника“, София, 1982
- [2] Bonnie C. Baker. Precision Temperature-Sensing with RTD Circuits, Application Note AN687, Microchip Technology Inc., 2008.
- [3] LabJack Corporation, UE9 Multifunction DAQ board datapage <https://labjack.com/products/ue9>

## ГЛАВА 2. ИЗМЕРВАНЕ НА КОМПОНЕНТИТЕ НА СЛЪНЧЕВОТО ГРЕЕНЕ

Тази глава е написана от Румен Попов  
от Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“, България.

### 2.1. Теория

#### 2.1.1. Пряка, глобална и дифузна слънчева радиация

Директният слънчев лъч, който достига директно до земната повърхност, се нарича **директна слънчева радиация**.

**Глобалната слънчева радиация** е общото количество слънчева радиация, падаща върху хоризонтална повърхност (т.е. директният слънчев лъч плюс дифузната слънчева радиация върху хоризонтална повърхност).

Пряката слънчева радиация се наблюдава от изгрев до залез слънце, докато глобалната слънчева радиация се наблюдава в сумрака преди изгрев и след залез слънце, въпреки намалената ѝ интензивност по това време.

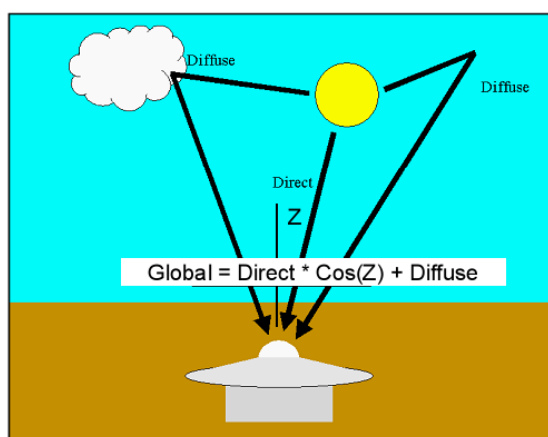
Единици:

Слънчевата радиация се изразява във ватове на квадратен метър ( $W/m^2$ ), а общото количество – в джаули на квадратен метър ( $J/m^2$ ). Преобразуването между използваната в момента единица (SI) и предишната единица (калории) може да се извърши по следните формули:

Слънчева радиация:  $1 kW/m^2 = 1.433 cal/cm^2/min$

Общо количество слънчева радиация:  $1 MJ/m = 23.89 cal/cm^2$

Стойността на пряката слънчева радиация е около  $120 W/m^2$  при изгрев и залез слънце и около  $800 W/m^2$  около обяд в ясен летен ден.



Фигура 1. Връзка между директните, глобалните и дифузните компоненти на слънчевата радиация

**Дифузната слънчева радиация** е слънчева светлина, която е разпръсната от атмосферните компоненти и/или от повърхността. Трите основни компонента на слънчевата радиация, достигаща до земната повърхност, са взаимосвързани чрез уравнението, дадено на фиг. 1. Можем да изчислим стойността на всяка от тях, като знаем другите две и зенитния ъгъл на директната компонента  $Z$ .

$$I_G = I_D * \cos(Z) + I_{DIF}, \quad (1)$$

където:

- $I_G$  е глобалното слънчево греене;
- $I_D$  е пряката слънчева радиация;
- $I_{DIF}$  е дифузната слънчева радиация;
- $Z$  е зенитният ъгъл.

Зенитният ъгъл  $Z$  зависи от положението на слънцето спрямо точката на измерване.

### 2.1.2. Инструменти за измерване

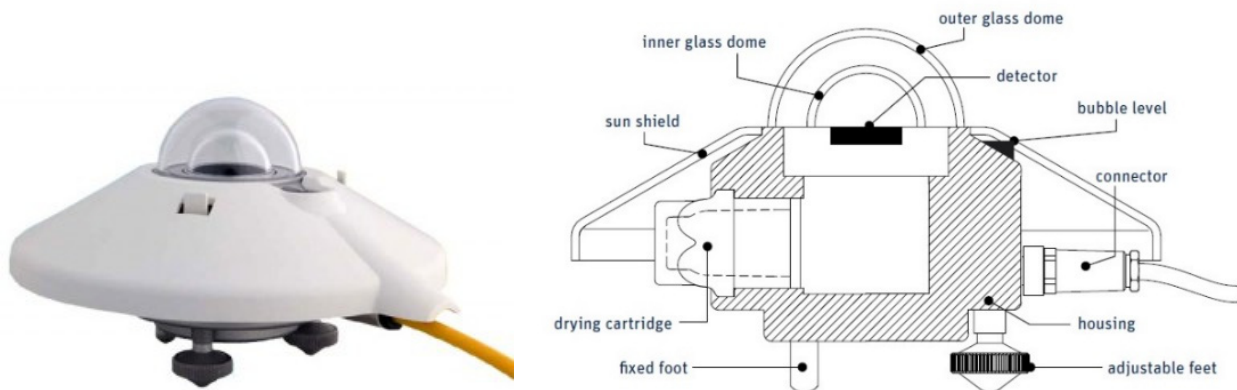
Радиометрите, използвани за обикновени наблюдения, са пирелиометри и пиранометри, които измерват съответно пряката и глобалната слънчева радиация. Радиометърът поглъща слънчевата радиация в своя сензор, преобразува я в топлина и измерва полученото количество топлина, за да установи нивото на слънчевата радиация.

Методите за измерване на топлината включват отчитане на топлинния поток като промяна на температурата (с помощта на пирелиометър за водни потоци, пирелиометър със сребърен диск или биметален пиранограф) или като термоелектромоторна сила (с помощта на термоелектрически пирелиометър или термоелектрически пиранограф). При сегашната експлоатация обикновено се използват типове, използващи термофилтър.

В настоящата работа са използвани два радиометъра CMP6 Pyranometer и CNP1 Pyrheliometer, и двата произведени от Kipp & Zonen.

#### 2.1.2.A. Пиранометър CMP6

Пиранометърът CMP6 [1] е предназначен за рутинни изследвания за измерване на глобалната слънчева радиация върху равнина/равнина. Напълно съвместим със спецификациите на ISO 9060:2018 за спектрално плосък клас B, CMP6 разполага с чувствителен елемент с шестдесет и четири термодвойки (последователно свързани). Сензорният елемент е покрит с високостабилно неорганично покритие на въглеродна основа, което осигурява отлични характеристики на спектрална абсорбция и дългосрочна стабилност (вж. фиг. 2).



Фигура 2. Конструкция на пиранометъра CMP6

Техническите спецификации на пиранометъра CMP6 са изброени в таблица 1.

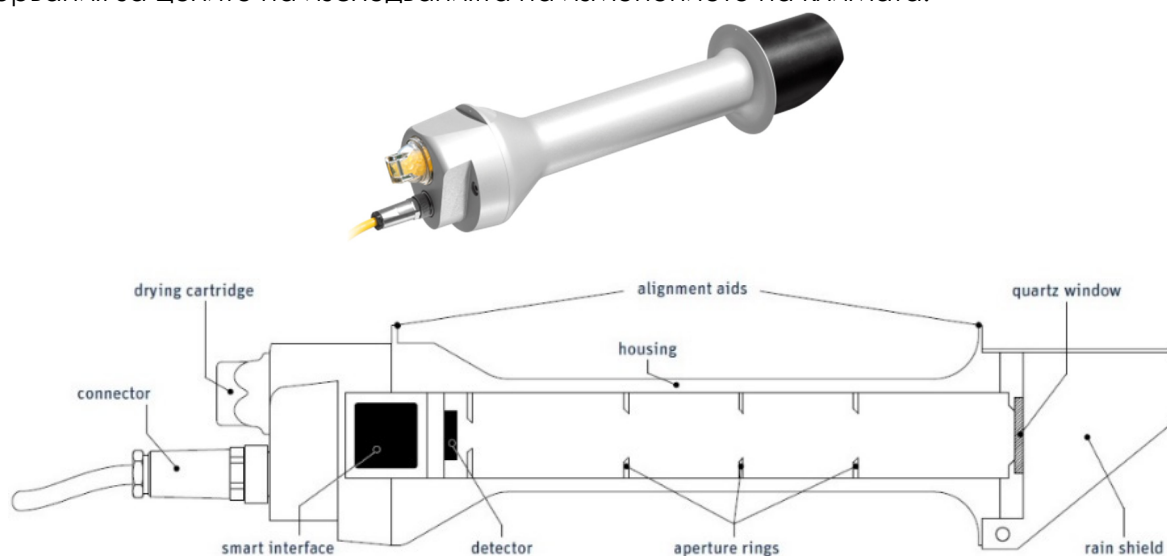
Таблица 1. Спецификации на пиранометъра SMP6

Спектрален обхват (50% точки)	285 до 2800 nm
Чувствителност	5 до 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Време на реакция	12 s
Отместване на нулата А	$< \pm 8 \text{ W}/\text{m}^2$
Отместване на нулата В	$< \pm 2 \text{ W}/\text{m}^2$
Насочена реакция (до 80° с лъч от 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ )	$< \pm 20 \text{ W}/\text{m}^2$
Температурна реакция (-10 до +40°C)	$< \pm 2\%$
Температурен диапазон на работа и съхранение	-40 °C до +80 °C
Максимална слънчева радиация	2000 $\text{W}/\text{m}^2$
Поле на видимост	180 °

### 2.1.2.В. Пирелиометър СНР 1

Пирелиометърът е предназначен за измерване на прякото слънчево лъчение с поле на видимост, ограничено до 5°, известно също като пряко нормално лъчение (Direct Normal Irradiance, DNI). Това се постига чрез формата на колимационната тръба, прецизните апертури и конструкцията на детектора. Предната апертура има кварцов прозорец, който предпазва инструмента и действа като филтър, пропускащ слънчевата радиация с дължина на вълната между 200 и 4000 nm.

Пирелиометърът СНР 1 [2] (вж. фиг. 3) е пирелиометър за всякакви метеорологични условия, който се предлага за непрекъснати измервания на пряката слънчева радиация. Конструкцията на пирелиометъра СНР 1 е показана на фиг. 4. СНР 1 надхвърля спецификациите на високотехнологичните мрежи за слънчева радиация, като например мрежата за базова повърхностна радиация (BSRN) на Световната програма за изследване на климата (WCRP). Тези мрежи се нуждаят от точни и надеждни дългосрочни измервания за целите на изследванията на изменението на климата.



Фигура 3. Конструкция на пирелиометър СНР 1

Техническите спецификации на пирелиометъра СНР 1 са изброени в таблица 2.

Таблица 2. Спецификации на пирелиометъра CHP 1

Спектрален обхват	200 до 4000 nm
Чувствителност	7 до 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Време на реакция	< 5 s
Нулево отместване В	< 1 W/m <sup>2</sup>
Температурна зависимост на чувствителността	< 0.5% (-20° до +50°C)
Поле на видимост (FOV)	5° ±0.2°
Диапазон на работната температура	-40° до +80°C
Нелинейност	< 0.2%
Максимално излъчване	4000 W/m <sup>2</sup>
Международни стандарти	Първи клас ISO
Диаметър на корпуса	3.8 cm (1.5 in.)

### 2.1.3. Измерване на пряката, глобалната и дифузната слънчева радиация

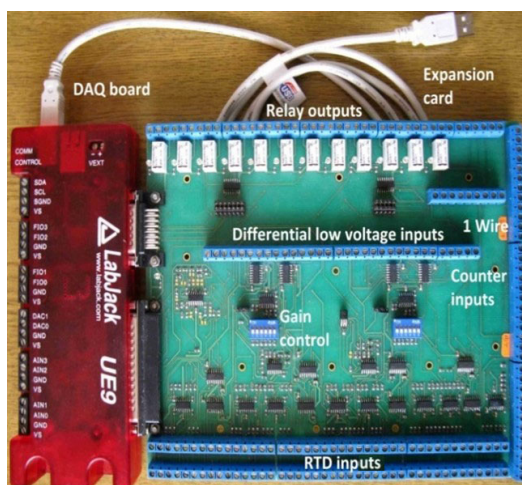
#### 2.1.3.A. Платка за събиране на данни (DAQ)

Големият брой измервателни точки изисква използването на многоканален инструмент. За тази цел е разработена „Карта за разширение“. Тя позволява (фиг. 4) да се разшири броят на аналоговите канали, осигурени от нашата DAQ-платка LabJack UE9 [3], както е посочено по-долу:

- 32 температурни канала Pt100 3-проводникови RTD;
- 16 диференциални входни канала за ниско напрежение (за постоянни токове, инструменти за слънчева радиация, термодвойки и др.);
- До 128 температурни сензора DS1820 или сензори за влажност (1-проводен интерфейс);
- 10 входни канала за постоянно напрежение (за ACV, АСА измервателни изходи);
- 8 входа за броячи (за дебитомери и електромери).

Освен това са налични 12 релейни изхода и 8 изхода на ниво TTL за управление на товари.

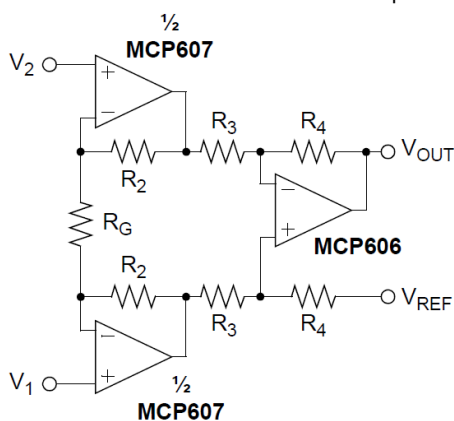
3-проводният фронт на RTD е свързан към четирите съществуващи аналогови канала за напрежение на DAQ чрез 8-кратно мултиплексиране, за да се получат 32 RTD канала.



Фигура 4. Карта за разширение и DAQ платка

На фигура 4 е представена схема на входната връзка от радиометрите към аналоговия входен канал AIN10 на LabJack UE9 на DAQ-платката.

Използва се класическа схема на инструментален усилвател с три операционни усилвателя, за да се получи сигнал на ниско ниво от термопилен сензор (вж. фиг.5). Двата входни операционни усилвателя [4] имат коефициент на усилване за диференциални сигнали и сигнали с общ режим +1. Изходният операционен усилвател е диференциален усилвател, който преобразува входния сигнал от диференциален в еднопосочен; той потиска сигналите с общ режим на входа си. С резистора ( $R_G$ ) може лесно да се регулира коефициентът на усилване на схемата. Референтното напрежение  $V_{REF}$  в еднополярните захранващи схеми обикновено е половината от захранващото напрежение ( $V_{DD}/2$ ).



Фигура 5. Инструментален усилвател с три операционни усилвателя

### 2.1.3.В. Измерване на пряката слънчева радиация

Да предположим, че изходният сигнал на пирелиометъра CHP 1 е свързан към АIN10 на LabJack UE9 чрез инструменталния усилвател, представен на фигура 5. В този случай трябва да се извършат няколко стъпки, за да се изчисли стойността на входящото пряко слънчево облъчване:

- Изчисляване на максималното напрежение на изхода на пирелиометъра  $U_{PIRH\_MAX}$  се извършва с формула (2):

$$U_{PIRH\_MAX} = S I_{D\_MAX}, \quad (2)$$

където  $S$  е чувствителността на устройството CHP 1 –  $10 \mu V m^2/W$ ;  $I_{D\_MAX}$  е максималната измерена пряка слънчева радиация –  $1000 W/m^2$ .

Тогава пресметнатата стойност е

$$U_{PIRH\_MAX} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = 10 \text{ mV}. \quad (3)$$

- Максималният коефициент на усилване  $k$  се намира, като се раздели на максималната стойност на входния обхват на UE9  $U_{UE9\_MAX}$ , която се избира, като се зададе  $625 \text{ mV}$  на максималното напрежение на изхода на пирелиометъра  $U_{PIRH\_MAX}$ .

$$k_{max} = U_{UE9\_MAX} / U_{PIRH\_MAX}, \quad (4)$$

$k_{max} = 630 \cdot 10^{-3} / 10 \cdot 10^{-3} = 63 \text{ V/V}$ . Избираме стойност  $k = 50$ . По този начин максималният обхват на измерване от устройството ( $500 \text{ mV}$ ) ще бъде в границите на максималния за входа на UE9 ( $625 \text{ mV}$ ).

- Изчисляването на директното излъчване  $I_D$  от напрежението на входа на UE9  $U_{IN\_UE9}$  се извършва по уравнение (5):

$$I_D = U_{IN\_UE9} / S \cdot k, \text{ so } I_D = U_{IN\_UE9} / 10 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \quad (5)$$

### 2.1.3.C. Измерване на глобалната слънчева радиация

Да предположим, че изходният сигнал на пиранометъра CMP6 е свързан към AIN11 на инструменталния усилвател LabJack UE9, представен на фигура 5. В този случай трябва да се извършат същите стъпки, описани по-горе, за да се изчисли стойността на постъпващото глобално слънчево облъчване. Полученото уравнение в този случай е следното:

$$I_G = U_{IN\_UE9} / S \cdot k, \text{ so } I_G = U_{IN\_UE9} / 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 50, \quad (6)$$

където е известно, че  $S$  (за пиранометъра CMP6) е  $12,5 \mu\text{Vm}^2/\text{W}$ ;  $k$  е същото като в горния случай ( $k = 50$ ).

### 2.1.3.D. Изчисляване на дифузната слънчева радиация

Стойността на дифузното слънчево облъчване IDIF се получава, като се използва уравнение (1) и резултатите от последните две измервания: ID и IG. Стойността на зенитния ъгъл  $Z$  е сравнително трудна за ръчно изчисляване, затова трябва да се използва интернет инструментът „SunPosition“ [5]. Като входни данни са необходими текущото време на часовника, часовата зона и местоположението на точката на измерване. На изхода се получава височинният ъгъл. След това зенитният ъгъл трябва да се изчисли по следния начин

$$Z = 90 \text{ deg.} - \text{стойност на ъгъла на надморската височина.} \quad (6)$$

## 2.2. Лабораторна конфигурация

### 2.2.1. Конфигурация на хардуера

Лабораторната инсталация е представена на фиг. 6 и се състои от следните компоненти

- DAQ-платка LabJack UE9;
- Разширителна карта;
- Пиранометър CMP6, свързан към диференциалния канал за ниско напрежение 10 на разширителната карта;
- пирелиометър CHP1, свързан към диференциалния канал за ниско напрежение 11 на разширителната карта;
- PC;
- USB кабел.

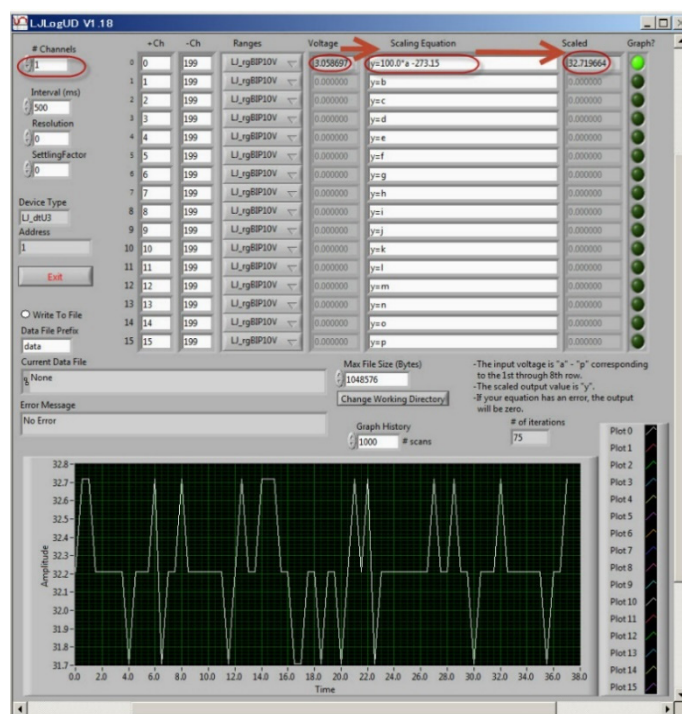


Фигура 6. Лабораторна тестова установка



## 2.2.2. Софтуерно приложение

Софтуерното приложение за регистриране на данни LJLogUD (фиг. 7) събира данните от измерванията и съхранява резултатите. То също така позволява предварителна обработка на данните от измерванията с помощта на прости потребителски уравнения.



Фигура 7. Софтуерно приложение LJLogUD

## 2.3. Задачи

1. Свържете всички компоненти на лабораторната изпитвателна уредба (фиг. 5);
2. Стартирайте софтуерното приложение и конфигурирайте параметрите на измерването, като зададете потребителското уравнение за измерване на ID и IG;
3. Стартирайте измерването и запазете резултатите (около 20 проби). По време на тази стъпка пирелиометърът CHP 1 трябва да бъде насочен точно към слънцето, като се използва подходяща стойка;
4. Имортирайте данните (.csv формат) в работен лист на Excel и използвайте уравнение (1), за да изчислите стойността на дифузното облъчване IDIF;
5. Създаване на графики на изменението на компонентите на слънчевото греене за определен период от време;
6. Изготвяне на доклад.

## Литературни източници

- [1] <https://www.kippzonen.com/Product/12/CMP6-Pyranometer>
- [2] <https://www.kippzonen.com/Product/18/CHP1-Pyrheliometer>
- [3] LabJack Corporation, UE9 Multifunction DAQ board datapage <https://labjack.com/products/ue9>
- [4] Microchip App. Note, MCP606/7/8/9. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/11177f.pdf>
- [5] Internet tool „SunPosition“ <http://www.susdesign.com/sunposition/index.php>

## ГЛАВА 3. ИЗМЕРВАТЕЛ НА НИВОТО НА ЗВУКА С ПОМОЩТА НА ARDUINO

*Тази глава е написана от Мартин Хрушка от Университета „Матей Бел“ в Банска Бистрица, Словакия.*

### 3.1. Теория

#### 3.1.1. Какво означава ниво на интензивност на звука?

Нивото на интензивност на звука, често наричано шум, е един от основните параметри на околната среда. Измерването му обаче е много сложно, поради което то е предназначено за специализирани фирми със сертификат за извършване на такава дейност. Съответните държавни разпоредби и стандарти определят методиката за измерване на звука и допустимите стойности. Днес на пазара вече се предлагат достатъчно качествени шумомери, с които можем да извършваме нашите измервания.

В следващия текст ще покажем как можем да конструираме сравнително прост измервател на нивото на звука с помощта на микроконтролера Arduino Uno (фиг. 1).



**Фигура 1.** Звукомер с микроконтролер Arduino Uno

Ще представим нашия опит в разработването и конструирането на звукомер и подводните камъни, с които трябва да се справим при конструирането на звукомер. Такова устройство не достига качеството на професионалните уреди. По-долу ще обясним причините за това. Въпреки това можем да го използваме за ориентировъчни измервания, които ни позволяват да проверим или потвърдим някои закони, свързани със звука и неговото разпространение в околната среда.

#### 3.1.2. Как се изчислява нивото на интензивност на звука?

В следващия текст ще представим избрани фактори, свързани с особеностите на измерването на шума, които трябва да имаме предвид при проектирането на шумомер или при разработването на нашата програма.

Текстът няма за цел да опише всички аспекти и физични закони, свързани с разпространението на шума в околната среда. Ако читателят трябва да научи повече за измерването на шума, е необходимо да проучи съответните стандарти и методики, които са в сила в момента в дадената страна.

Сила на звука или ниво на интензивност на звука  $L$  [dB] може да бъде изчислен по формулата:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 20 \log \frac{p}{p_{ref}}, \quad (1)$$

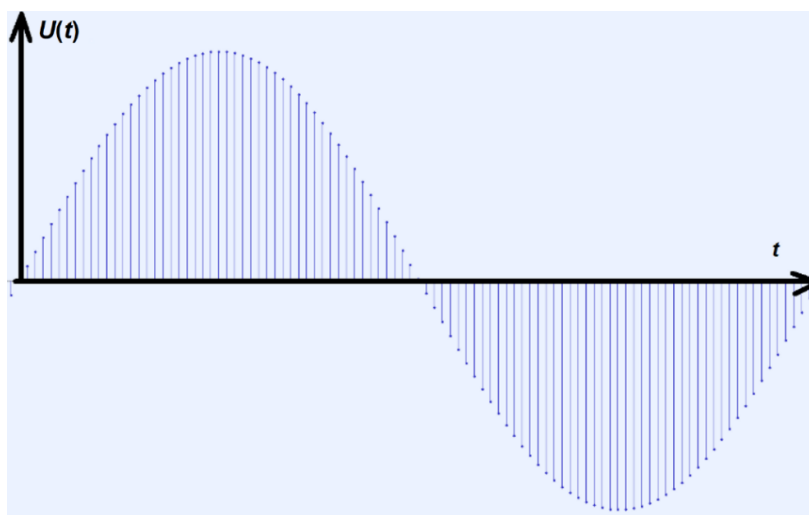
където  $I$  е интензитетът на звука [ $\text{Wm}^{-2}$ ],  $I_0$  е най-ниският регистрируем интензитет на чист тон с честота 1 kHz ( $I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$ ),  $p_{ref} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$  е праговата стойност на акустичното налягане (най-ниската стойност на налягането, която може да бъде засечена от слуха – праг на чуваемост), а  $p$  е моментната стойност на звуковото налягане. Интензитетът на звука е правопрпорционален на квадрата на звуковото налягане. По време на измерванията моментната стойност на звуковото налягане  $p$  трябва да се замени с ефективната стойност на звуковото налягане ( $p_{rms}$ ) за определен период от време, тъй като звуковото налягане се променя много бързо с течение на времето.

Ето защо шумомерите често имат няколко режима на измерване. Например, шумомерът RFT 00024 измерва в режими S (бавен), когато изчислява нивото на интензивност на шума за 1 s, режим F (бърз) за 125 ms и режим I (импулсен) за 35 ms.

Физическите причини, поради които формула (1) съдържа логаритмичната зависимост на дела на акустичните налягания, умножен по коефициент 20, както и причините, които водят до необходимостта да се работи с ефективната стойност на функцията на акустичното налягане, са добре известни, но надхвърлят обхвата на този текст, така че тук няма да ги обсъждаме, за да ги разнищваме. Ще кажем само, че ефективната стойност на акустичното налягане е правопрпорционална на енергията на изследвания акустичен сигнал.

Нека си спомним, че за ефективната стойност на функцията  $y_{ef}$ , респективно  $y_{rms}$ , чиято моментна стойност  $y(t)$  се променя във времето  $t$ , за (съответния) интервал от време  $\Delta t = t_2 - t_1$  се определя:

$$y_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} y^2(t) \cdot dt}. \quad (2)$$



Фигура 2. Ход на хармоничния сигнал, генериран в програмата Audacity

Микроконтролерът измерва непрекъснатата функция (обикновено напрежение  $U$ ), като записва нейните моментни стойности през определени интервали от време с избрана честота на дискретизация (фиг. 2), което се нарича квантуване на сигнала (Gray & Neuhoff, 1998). Следователно можем да заменим интеграла със сумата:

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U^2(i)}, \quad (3)$$

където  $n$  е броят на моментните стойности на напрежението от микрофонния сензор, които Arduino Uno записва в избрания интервал от време.

Полученото субективно възприятие на звука, което съответства на нивото на неговата интензивност, зависи от много други фактори, а изследванията в тази област все още носят нови знания.

Ще споменем поне зависимостта на нивото на интензивност на звука от неговата честота.

Чуваемостта на човешкия слух варира от 20 Hz до 20 kHz. Чувствителността към звуковите усещания обаче зависи от честотата на звука и ние сме най-чувствителни към звуци с честота от 2 kHz до 5 kHz. В същото време честотната зависимост на слуха е по-силно изразена при ниски нива на звуково налягане и по-слабо изразена при високи нива на звуково налягане. Поради това понастоящем се използват тегловни филтри A, B, C, D, Lin и Z, които отчитат чувствителността на човешкия слух в зависимост от големината на нивото на акустичния интензитет (Degro, 2009), (Frequency-Weightings for Sound Level Measurements, 2023), (Sound Level Frequency Weightings – A, B, C, D, Lin, Z, 2023).

За целите на изчисленията областта на звуковите честоти често се разделя на октавови ленти с интервали от 1:2 средни честоти, докато например филтър A присвоява на отделните ленти следните корекции (табл. 1).

В днешно време някои уебсайтове изчисляват ефекта на честотните филтри върху отделни честоти, напр. (Calculation of Frequency Weightings, 1996).

**Таблица 1.** Корекции на филтъра за претегляне на честотата A

Средна честотна лента $f_m$ [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Корекция $K_{Ai}$ [dB]	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1,0	-1,1

След това полученото ниво на интензивност на звука  $L_A$  трябва да се изчисли по формула (4):

$$L_A = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i + K_{Ai}}{10}}. \quad (4)$$

Поради горните причини професионалният звукомер трябва да съдържа и така наречения тегловен филтър или няколко тегловни филтъра, които регулират чувствителността на измервателния уред в зависимост от честотния интервал и стойността на интензитета на звука. Разлагането на сигнала на отделни честотни компоненти или разделянето му на интервали е част от честотния анализ. От гледна точка на създаването на програма за прост измервател на нивото на звука Arduino обаче това е по-сложен въпрос, затова няма да се занимаваме с него по-нататък.

Табл. 2 показва ориентировъчни стойности на нивото на интензивност на звука в зависимост от източника на уреда в интериора и от друг еквивалентен източник на звук (Výber spotřebiča podľa hladiny hluku, 2019).

Таблица 2. Избрани източници на звук и техните типични стойности на интензитета на звука

L [dB]	Уреди	Еквивалентни дейности
39 – 50	Хладилник, съдомиялна машина	Тиха улица, нормален звуков фон
51	перална машина по време на пране	Тих разговор, лек дъжд
55	Телевизор, ръчен блендер	Шумен разговор
60	Дигитайзер	
60 – 80	Прахосмукачка	Социално събитие, аплодисменти в залата, силна репродуцирана музика
70 – 75	Пералня по време на въртене, електрическа кана	
90	–	Преминаващ влак
110	–	Дискотека
120 – 130	–	Праг на болка

### 3.1.3. Разпространение на звука в околната среда

Най-простият пример за източник на звук е точков източник в свободно пространство. Такъв източник на звук може да бъде например самолет, който лети високо над земята.

В този случай акустичната мощност  $P$  на източника е равномерно разпределена по повърхността на въображаема сфера със съответния радиус  $R$ , така че за интензитета можем да запишем (5):

$$I_R = \frac{P}{4\pi R^2}. \quad (5)$$

От зависимост (5) следва, че удвояването на разстоянието от източника до  $2R$  ще доведе до намаляване на интензитета до една четвърт от първоначалната стойност:

$$I_{2R} = \frac{P}{4\pi(2R)^2} = \frac{I_R}{4} \quad (6)$$

Ако искаме да изчислим как ще се промени нивото на интензивност на звука или шума, трябва да използваме формула (1), както следва:

$$\Delta L = L_{2R} - L_R = 10 \left\{ \log \frac{I_{2R}}{I_0} - \log \frac{I_R}{I_0} \right\}$$

$$\Delta L = 10 \log \frac{\frac{I_{2R}}{I_0}}{\frac{I_R}{I_0}} = 10 \log \frac{I_{2R}}{I_R} = 10 \log 0,25 \cong \underline{\underline{-6 \text{ dB}}} \quad (7)$$

Това означава, че удвояването на разстоянието от точков източник води до намаляване на интензитета на звука с приблизително 6 dB.

## 3.2. Лабораторна конфигурация

### 3.2.1. Кратко описание на отделните компоненти на разработения измервател на нивото на звука Arduino

- **Arduino Uno, дисплей с течни кристали (LCD) 20 x 4 със синя подсветка**

За конструирането на прост измервател на нивото на звука ще ни е необходим микроконтролер Arduino UNO и течнокристален дисплей (фиг. 3а, б).

Тези компоненти са описани по-подробно в текста, описващ изграждането на метеорологичната станция в глава 5, така че няма да ги разглеждаме подробно.



a)



b)

Фигура 3. Микроконтролер Arduino Uno (a) заедно с LCD дисплей (b)

- **Микрофонен модул с усилвател MAX4466**

Електретен микрофон с нискошумен операционен усилвател Maxim MAX4466 се произвежда от Adafruit. Според уебсайта на производителя (Adafruit, 2023) сензорът осигурява висококачествен звук с малко количество нежелан шум.

На същата страница можем да намерим и CAD файлове с окабеляването и печатната платка на сензора, основните каталожни данни на използвания електретен микрофон и усилвателя MAX4466. Работната честота на микрофона е от 20 Hz до 20 kHz; звуковата характеристика на микрофона е многопосочна, което означава, че той улавя звуци от всички посоки.

Можем да регулираме усилването на сензора с потенциометъра на гърба в интервала от 25x до 125x.

За нуждите на проекта препоръчваме да зададете усилването на сензора в самото начало и да не го променяте повече, тъй като окончателното калибриране на изчисления интензитет на звука ще трябва да се настрои спрямо зададеното усилване!

Сензорът не изисква инсталиране на библиотека за своята работа. Размерите му са приблизително 14 mm x 22 mm, а освен това има два монтажни отвора за закрепване с винтове.



Фигура 4. Електретен микрофон с операционен усилвател MAX4466

- **Стабилизатор на напрежение AMS1117 (3.3 V), захранване на микрофонния модул**

По време на конструирането на измервателя на нивото на звука Arduino стана ясно, че е необходимо да се използва достатъчно качествен стабилизатор, за да се стабилизира захранващото напрежение на микрофонния модул. Ако захранвахме микрофонния модул директно от 3.3 V DC на изхода на Arduino, измерванията бяха много неточни.

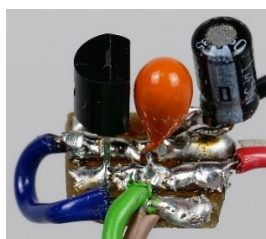
На втория етап използвахме стабилизатора AMS1117 за 3.3 V (фиг. 5), който, въпреки че е предназначен директно за модули, чувствителни към захранването на Arduino, не осигуряваше достатъчно изгладено напрежение.



**Фигура 5.** Стабилизатор на напрежение AMS1117 3,3 V, захранван от 5V DC изход на Arduino

И накрая, като стабилизатор или източник на референтно напрежение използвахме схемата LP2950ACZ-3.3/NOPB, чиято точност на изходното напрежение достига 0,5% (това представлява отклонение от референтното напрежение от  $\pm 16,5$  mV).

На фиг. 6 е показано нейното свързване в звукомера с кондензаторите на входа и на изхода.



**Фигура 6.** Стабилизатор на напрежение LP2950ACZ-3.3/NOPB с кондензатори 1  $\mu$ F и 2,2  $\mu$ F, разположен на печатната платка и захранван от изхода 5 V DC на Arduino

Недостатъчното стабилизиране на напрежението на микрофонния модул се проявява по няколко начина:

- Шум в захранването на микрофонния модул.

По подразбиране различните модули в приложенията на Arduino се захранват от самия Arduino с напрежение 3,3 V DC или 5 V DC. В случая с измервателя на нивото на звука това захранване не е достатъчно стабилно, тъй като съдържа различни нискочестотни и високочестотни смущения, чийто източник е преди всичко самият Arduino (най-вече различни комуникационни сигнали). Този проблем впоследствие се отразява в невъзможността за измерване на ниски и средни стойности на интензитета на звука, тъй като захранването е източник на толкова много смущения в усилвателите, че стойностите на интензитета на звука не падат под 60 dB дори при пълна тишина. По своята същност капсулата на електретния микрофон съдържа операционен усилвател, който усилва сигнала от микрофона и се захранва директно през платката на микрофонния модул чрез така нареченото фантомно захранване. Допълнително усилване се осигурява от операционния усилвател MAX4466, разположен на печатната платка на микрофонния сензор. Да предположим, че захранваме такава система от усилватели от източник на напрежение с много смущения. В такъв случай тези електронни смущения също се усилват (въпреки използването на различни филтри за изглаждане на захранването). На изхода на звуковия модул ще чуем силен шум, който, разбира се, ще се отрази неблагоприятно на изчисляването на стойността на звуковото налягане и съответно на интензитета на звука. Ето защо не е случайно, че много шумомери се захранват от вътрешни акумулатори или батерии, които елиминират този вид смущения.

- Нестабилност на работната точка на микрофонния модул в зависимост от захранването на звукомера Arduino, температурата и др.

Микрофонният модул на изхода си предоставя сигнал за напрежение за Arduino, като стойностите му могат да варират от 0V до 3.20V (в зависимост от настройката на

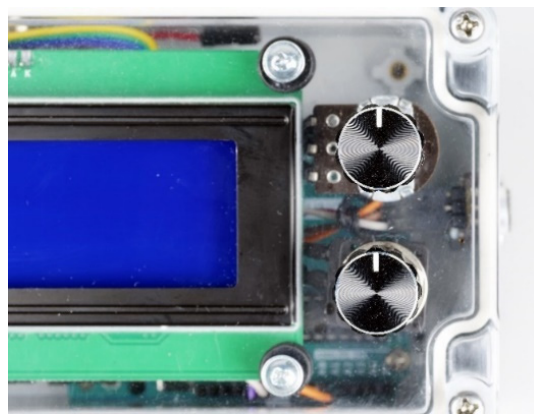
усилването на микрофонния сензор в началото). Това означава, че при нулево звуково възбуждане, когато около микрофона има практически абсолютна тишина, стойността на изхода достига точно 1.60V и почти не се променя с времето. По-ниските стойности на напрежението представляват отрицателни стойности на звуковото налягане; по-високите стойности от 1.60V съответстват на положителни стойности на звуковото налягане. Тъй като в случая на електретен микрофон напрежението на изхода е правопрпорционално на акустичното налягане, можем лесно да преобразуваме стойностите на напрежението в акустично налягане. За да може звукомерът да измерва правилно, средната стойност на напрежението от 1.60V трябва да остане постоянна, докато влиза в изчислението на звуковия интензитет. Ако тази точка се премести по време на измерването, звукомерът ще покаже неправилни и значително по-високи стойности на звуковия интензитет. В същото време, благодарение на много чувствителния логаритъм – дори при леко отклонение от средната стойност на напрежението от 0.1mV, стойностите на звуковото налягане се преместват с единици до десетки dB. Това е една от причините, поради които дори някои налични в търговската мрежа шумомери могат да измерват от 30 dB до 50 dB.

- Термична стабилност на захранването и на захранването на Arduino.

Опитът ни показва, че средната стойност на напрежението от 1.60V се променя леко в зависимост от температурата на устройството. Това вероятно се дължи главно на температурната нестабилност на микрофонния сензор с усилвателя MAX4466, чиято работна точка се променя леко с температурата.

- Стабилност на работната точка в зависимост от вида на захранването.

Друго, още по-съществено влияние върху изместването на работната точка оказва източникът на захранване на звукомера – различните адаптери за постоянен ток, както и USB портовете на компютрите или USB адаптерите, осигуряват малко по-различни стойности на напрежението, което се отразява и на изместването на средната стойност на напрежението на микрофонния модул. Опитвахме се да елиминираме това влияние, като свързахме два потенциометъра зад стабилизатора на напрежение – за по-груба и по-фина настройка на средната стойност на напрежението след свързване на захранването (фиг. 7). Възможно е да се коригира колебанието на стойността на работната точка по време на измерването. Окончателната схема на свързване на звукомера Arduino и неговата блокова схема са представени в следващия подраздел.



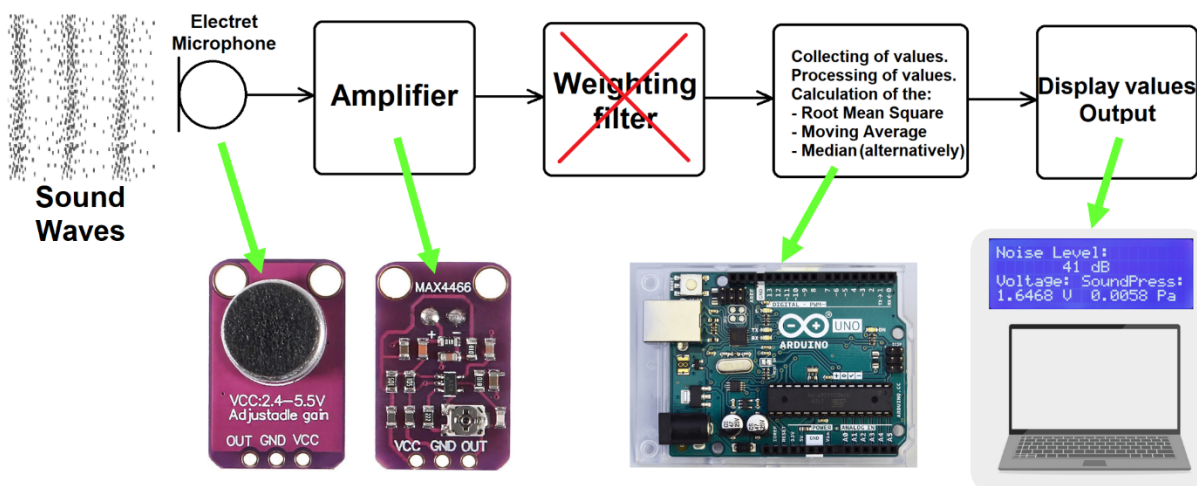
**Фигура 7.** Изглед на двата въртящи се потенциометъра.

Горният потенциометър се използва за по-грубо калибриране на работната точка на измервателя на нивото на звука на Arduino, а долният потенциометър се използва за фината му настройка. **Внимание** – необходимо е да се използват линейни потенциометри (обозначение LIN или B). Логаритмичните потенциометри (обозначение LOG или A) се използват за регулиране на силата на звука.



### 3.2.2. Описание на свързването и конструкцията на звукомера Arduino

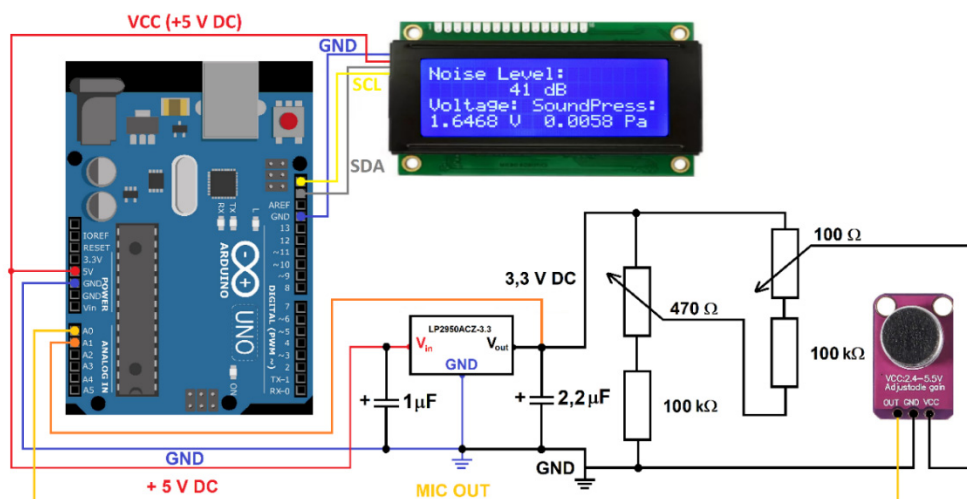
Преди да опишем електротехническото свързване на шумомера, първо ще се спрем на неговата блокова или функционална схема (фиг. 8). Опростеното свързване се основава на блоковата схема на стандартен, наличен в търговската мрежа звукомер.



Фигура 8. Блок схема на звукомера Arduino

Микрофонният модул и операционният усилвател улавят звуковия импулс, преобразуват го в електрически сигнал и го усилват. Впоследствие електрическият сигнал постъпва в микроконтролера Arduino Uno, където се пропуска спектралният анализ на сигнала и регулирането му с помощта на претеглен филтър. От поредица от стойности на напрежението се изчислява ефективната стойност на напрежението, преобразува се в акустично налягане и впоследствие влиза в изчисляването на стойността на интензитета на звука. За да се намали случайният шум, от измерените стойности на звуковия интензитет се изчислява или плаваща средна стойност, или се определя медианата (в зависимост от версията на програмата и нашите нужди). Резултатите се показват на дисплея или се записват на компютъра. На дисплея се показват също ефективната стойност на измереното напрежение и ефективната стойност на звуковото налягане.

Схемата на измервателя на нивото на звука е показана на фиг. 9.



Фигура 9. Схема на свързване на звукомера Arduino

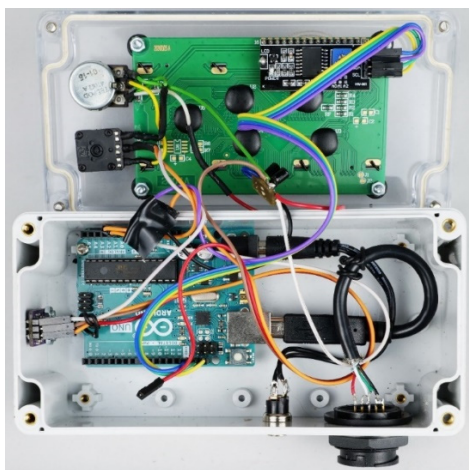
LCD дисплеят е свързан с Arduino с четири проводника. Два от тях са свързани с интерфейса I<sup>2</sup>C (SCL и SDA), а останалите се използват за захранване на дисплея (GND и 5V DC). Напрежението 5V се подава и към стабилизатора LP2950ACZ-3.3, който е включен преди потенциометрите и микрофонния модул. За по-добра стабилност и елиминиране на шумовете стабилизаторът е оборудван с електролитни кондензатори 1.0  $\mu$ F и 2.2  $\mu$ F на входа и на изхода съгласно връзката в каталога (Datasheet LP295x-N Series, 2017). Потенциометър 480  $\Omega$ , свързан последователно с резистор 100 k $\Omega$ , се използва за грубо калибриране на работната точка, а потенциометър 100  $\Omega$ , свързан последователно с резистор 100 k $\Omega$ , позволява фина настройка на работната точка. Изходът от микрофонния сензор се свързва към извод A0 на Arduino. Освен това изходното напрежение от стабилизатора също е свързано към извод A1. Това напрежение трябваше да се записва за диагностични цели по време на конструирането на програмата, главно поради контрола на качеството на използвания стабилизатор, и ние запазиме проводника свързан за всеки случай, дори и в окончателния вариант на окабеляването.

Ще осъществим връзката с помощта на проводници, като за свързване на микрофонния сензор с Arduino е най-добре да се използват проводници с клеми DuPont тип M-F (мъжка-женска), както е показано на фиг. 10. В допълнение към тях ще трябва да направим някои връзки с помощта на поялник и калай.



**Фигура 10.** Проводници с M-F клеми за свързване към Arduino

За да можем да си го представим по-добре, действителното свързване на Arduino, микрофонния сензор, потенциометрите и LCD дисплея е показано на фиг. 11.



**Фигура 11.** Поглед отвътре към измервателя на нивото на звука на Arduino

В горната част на снимката се вижда задната част на прозрачния капак на кутията, към която са прикрепени LCD дисплеят и двата потенциометъра. Arduino Uno е закрепен в долната част на монтажната кутия. Сензорът на микрофона е на лявата стена (от наша гледна точка), а конекторите за захранване и USB са в долната част на снимката. Стабилизаторът за постоянен ток 3,3 V и кондензаторите на малка печатна платка са прикрепени към проводниците, а не директно към кутията.

Свързването на сензора на микрофона към страничната стена на монтажната кутия със залепените противоплъзгащи подложки е показано на фиг. 12.



**Фигура 12.** Монтиране на сензора за микрофон

В следващия текст ще опишем програмата за измерване на нивото на звука и ще дадем кратко ръководство за работа с нея.

### 3.2.3. Програмиране на звукомера Arduino и описание на програмата

Създадохме две програми за звукомера Arduino, които се различават леко в крайната обработка на измерената интензивност на звука. Първата версия на програмата изчислява пълзяща средна стойност от пет измерени стойности на интензитета на звука. Тази процедура обикновено се използва при обработката на данни, за да се елиминира шумът в измерените стойности. В този случай недостатъкът е, че звукомерът не може да реагира на бързи промени в звука. Ако трябва да уловим по-бързи промени, по-добре е да използваме втората версия на програмата, която изчислява медианата.

В следващия текст ще опишем по-подробно версията на програмата за пълзяща се средна стойност, а след това ще посочим разликите във версията за медиана.

В първата част на програмата (фиг. 13) е необходимо да се заредят библиотеките за I<sup>2</sup>C комуникация и за дисплея, а за по-сигурно и математическата библиотека, тъй като ще ни е необходима функцията за десетичен логаритъм. Също така е необходимо да се дефинират необходимите константи.

*NB: Програмата ще игнорира текста след символа „//“.*

```
RMS_Decibelometer_FIN_Cal_Ser_Mov_Av_2.ino
1 // Simple Noise Meter, Martin Hruska, 2023, moving average
2 // Launch the necessary libraries
3 #include <Wire.h> // Library for i2C communication
4 #include <math.h> // Mathematical library (probably not necessary)
5 #include <LiquidCrystal_I2C.h> // Library for the LCD display
6 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); // Define display properties
7
8 const float referenceVoltage = 5.0; // Reference voltage, to calculate the current value from the microphone
9 const float referenceSoundPressure = 0.00002; // Minimum pressure detectable by the microphone (Pa) - probably
10 const float maximumSoundPressure = 20.0; // The highest possible sound pressure (Pa) - pain threshold
11 const float mindecibel = 25.0; // The minimum value in decibels that makes sense to measure
12 const float maxVoltage = 3.26; // Calibration voltage = 3.26 V / 2 = 1.63000 V!!!
13
```

**Фигура 13.** Първата част на кода с инициализация на библиотеки и входни константи

В следващата част на програмата се дефинира индекс за изчисляване на ефективната стойност на напрежението от сензора на микрофона. Програмата изчислява ефективната стойност от 3500 стойности на измереното напрежение (фиг. 14). Също така в уводната част на програмата е дефинирано поле за изчисляване на пълзящата средна стойност.

```
14 // Index for calculation of root mean square voltage:
15 float i=0;
16 float samples = 3500; // Number of samples!!!
17 float sum2 = 0;
18 float adcValue = 0;
19 float Voltage;
20 float result2 = 0;
21 unsigned long cas2;
22
23 // Array size for storage of values for calculating the moving average from 5 RMS Voltage values
24 const int arraySize = 5;
25 // Array for storing decibelValues
26 int decibelValues[arraySize];
27 // Index for storing new values
28 int index = 0;
29 // Variable for storing the sum of values
30 int sum = 0;
31
32
```

**Фигура 14.** Въвеждане на индекс и поле за изчисляване на ефективната стойност и пълзящата средна стойност

В частта за инициализация на програмата (void setup()) инициализираме серийната комуникация, LCD дисплея и командата за приемане на текст, която няма да се променя по време на изпълнението на програмата (фиг. 15).

```
33 void setup() {
34   Serial.begin(9600); // Initialization of serial communication
35   Wire.begin(); // Initialization of I2C communication
36   lcd.init(); // Initialization of LCD display
37   lcd.backlight(); // Switching on the LCD backlight
38   lcd.setCursor(0, 0); // The text that will not be changed during the measurement will be displayed
39   lcd.print("Noise Level:");
40   lcd.setCursor(0, 2);
41   lcd.print("Voltage:");
42   lcd.setCursor(9, 2);
43   lcd.print("SoundPress:");
44   Serial.print("dB ");
45   Serial.println();
46 }
47
```

**Фигура 15.** Инициализиращата част на програмата

При основното изпълнение на програмата void loop() на фиг. 16 Arduino първо прочита цифрова стойност с 10-битова разделителна способност от сензора на микрофона. Впоследствие тя се преобразува в напрежение, квадратира се и се добавя към другите усиленни стойности на напрежението. Той повтаря този процес приблизително на всеки 8  $\mu$ s, докато преброи 3500 стойности на напрежението. Сумата се разделя на броя на извадките и се изчислява на квадрат в съответствие със зависимост (3). Следва изчисляване на звуковото налягане, стойността на звуковия интензитет и калибрираната

СТОЙНОСТ НА ЗВУКОВИЯ ИНТЕНЗИТЕТ СПОРЕД ЗВУКОМЕРА UNI-T UT352, КОЙТО Е ОПИСАН НАКРАТКО ПО-ДОЛУ В СЛЕДВАЩИЯ РАЗДЕЛ.

```

48 void loop()
49 {
50   adcValue = analogRead(A0); // Reading a value from the microphone sensor
51   if (abs((micros()-cas2))>=100) // For code stability reasons
52   {
53     cas2=micros();
54     float Voltage = adcValue * (referenceVoltage / 1023); // Convert digital value at input A0 to voltage, 10 bits input
55     sum2 = sum2 + Voltage * Voltage; // Calculating the square of the voltage, adding to the total sum
56     i=i+1;
57   }
58   if (i == samples)
59   {
60     result2 = sum2 / samples;
61     result2 = sqrt(result2);
62     sum2=0;
63     i=0;
64
65     float RMSVoltage = result2; // RMS Voltage output
66     int sensorValue = analogRead(A1); // Reading the voltage value at the output of the stabilizer, active but not needed now
67     float micsupplyvoltage = sensorValue * (referenceVoltage / 1023); // Calculation of the voltage at the output of the stabilizer, active but not needed now
68     float RMSPressure = maximumSoundPressure * abs(RMSVoltage - maxVoltage/2) / (maxVoltage/2); // Calculation of RMSPressure (Pa)
69     float decibelRMS = abs(20 * log10(RMSPressure / referenceSoundPressure)); // Calculation of noise level (dB), uncalibrated
70     float decibelRMSCal = decibelRMS - 0.0098*decibelRMS*decibelRMS + 1.5724*decibelRMS - 40; // Calibrated value according to UNI-T UT352
71

```

**Фигура 16.** Изчисляване на стойността на интензитета на звука

```

72 | // Input of the decibelRMSCal value to the moving average:
73 int decibel = decibelRMSCal;
74 // Removing the oldest value from the sum
75 sum -= decibelValues[index];
76 // Adding a new value to the sum
77 sum += decibel;
78 // Saving a new value to the array
79 decibelValues[index] = decibel;
80 // Index incrementation (respectively increase the number of index by 1)
81 index = (index + 1) % arraySize;
82 // Calculation of the moving average
83 float average = (float)sum / arraySize;
84
85 delay(100); // For better stability of the code
86 lcd.setCursor(0, 1); // Setting the display cursor to the initial position
87 lcd.print("          "); // Print clear characters
88
89 if (average <= mindecibel) // Conditional statement - if the value of average is less than 25 dB, do not display it and print only "25 dB".
90 { lcd.setCursor(7, 1);
91   lcd.print(mindecibel, 1);
92   Serial.print(mindecibel, 1);
93   Serial.println();
94 }
95 else if (average > mindecibel) // Conditional statement - if the value of average is higher than 25 dB then display actual value of average.
96 { lcd.setCursor(7, 1);
97   lcd.print(average, 1);
98   Serial.print(average, 1);
99   Serial.println();
100 }
101 lcd.print(" dB");
102 lcd.setCursor(0, 3);
103 lcd.print("          ");
104 lcd.setCursor(0, 3);
105 lcd.print(RMSVoltage, 5); // Display RMSVoltage value - important for setting the operating point!!!
106 lcd.print(" V");
107 lcd.setCursor(11, 3);
108 lcd.print(RMSPressure, 4); // Display RMSPressure value
109 lcd.print(" Pa");
110 delay(143); // Delay - values are recorded every second
111 }
112 }

```

**Figure 17.** Calculation of the moving average and output of values to the LCD and the computer

В последната част на програмата (фиг. 17) се изчислява пълзяща средна стойност от петте стойности на интензитета на звука, измерени по този начин. При това е необходимо да се гарантира, че след изчислението му последното число винаги се изхвърля от полето за данни и се зарежда ново. След изчислението му на LCD дисплея се показва само списъкът с измерените стойности на интензитета на звука, ефективното напрежение и ефективното звуково налягане.

Чрез серийната връзка през USB порта е възможно записване на стойността на интензитета на звука в децибели на компютъра. Стойностите се показват на всяка секунда.

Както беше споменато по-горе, ако трябва да регистрираме по-бързи промени в интензивността на звука, по-подходящо е да се изчисли медианата от измерените стойности на интензивността.

В сравнение с програмата за изчисляване на пълзяща средна стойност, разликата е, че частите от кода, които определят началните условия и променливите за изчисляване на пълзящата средна стойност, са заменени с кода за медиана. Както се вижда на фиг. 18, медианата се избира като средна стойност след сортиране в случай на нечетен брой стойности. Ако броят на стойностите е четен, програмата изчислява средната стойност на двете средни стойности.

```
23 // Number of values in array for Median Calculation
24 const int arraySize = 5;
25
26 float decibel[arraySize];
27
28 float calculateMedian(float* array, int number) {
29     // Arrangement of values in the array ascending
30     for (int i = 0; i < number - 1; i++) {
31         for (int j = 0; j < number - i - 1; j++) {
32             if (array[j] > array[j + 1]) {
33                 float temp = array[j];
34                 array[j] = array[j + 1];
35                 array[j + 1] = temp;
36             }
37         }
38     }
39
40     // If the number of values is even, calculate the average of the two middle values
41     if (number % 2 == 0) {
42         return (array[number / 2 - 1] + array[number / 2]) / 2.0;
43     }
44     // If the number of values is odd, calculate the value on the mean index
45     else {
46         return array[number / 2];
47     }
48 }
```

**Фигура 18.** Програмен код за изчисляване на медианата на пет стойности

```
90 // Median calculation - reading values of decibelRMSCal into the array
91 for (int i = 0; i < arraySize; i++) {
92     decibel[i] = decibelRMSCal;
93     delay(50); // For better stability of the code
94 }
95
96 // Median calculation
97 float median = calculateMedian(decibel, arraySize);
```

**Фигура 19.** Изчисляване на медианата от пет стойности

Втората промяна в кода се намира във функцията `void loop()` веднага след изчисляването на калибрираната стойност на интензитета на звука, където в съответствие с условията, определени по-горе на фиг. 18, се извършва отчитането на стойността на интензитета на звука (децибелRMS $Ca$ ) и собственото изчисляване на медианата на петте стойности (фиг. 19). Резултатът е медианната променлива. Следващата процедура за изписване на стойностите е идентична и в двете програми.

В интерес на истината нека споменем, че при създаването на кода за звукомера Arduino частично използвахме езиковия модел ChatGPT, разработен от OpenAI и базиран на архитектурата GPT-3.5. Изкуственият интелект сам по себе си не би могъл да генерира по-сложен код, но значително ни помогна да създадем някои от неговите (за нас) по-сложни фрагменти и да спазим синтаксиса на езика Wiring, предназначен за микроконтролерите Arduino.

### 3.2.4. Калибриране на звукомер на Arduino

Тъй като разполагахме с шумомер UNI-T UT352 (фиг. 20а), решихме да го използваме за калибриране на създадения от нас шумомер, така че да показва измерените стойности на интензитета на звука възможно най-точно. Нашият звукомер не съдържа тегловни филтри, затова използвахме т.нар. бял шум, който включва целия спектър от звукови честоти. Този тип звук е изгоден и за измервания в затворено помещение, тъй като елиминираме проблемите с образуването на стоящи вълни. Звукът в помещението се отразява от различни повърхности и си пречи. Ако в пространството между източника на звука и измервателя на нивото на звука има възли и трептения, те ще обезсилят измерването на интензитета на звука в близост до неговия източник.

Генерирахме бял шум като файл \*.wav без загуби в свободно достъпната аудио-програма за обработка на звук Audacity. Записахме го в мини-MP3 плейър (фиг. 20б). Мини-MP3 плейърът или мини-MP3 говорителят във формата на куб с дължина на ръба приблизително 3,3 cm има свой източник на захранване, USB, и 3,5 mm стерео жак конектор.



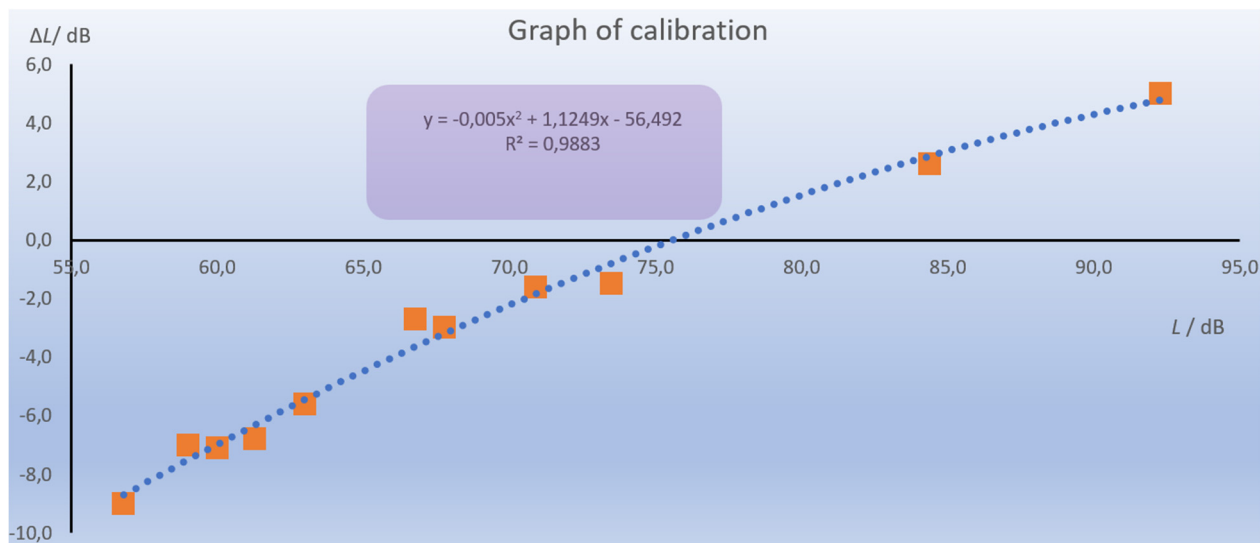
a)



b)

**Фигура 20.** Инструменти, използвани за калибриране –  
a) шумомер UNI-T UT352 и b) мини-MP3 плейър

Извършихме калибрирането, като придвижихме мини-MP3 плейъра с бял шум към измервателните уреди за нивото на звука от 5 cm до 1 m, като записахме данни за интензитета на звука в децибели на двете устройства за 11 разстояния. За всяко разстояние изчислихме разликата между стойностите на устройствата и нанесохме тези разлики на графика. По оста x са данните от устройството UNI-T UT352; по оста y са разликите между нашето и търговското устройство. Интерполирахме получената зависимост с полиномна зависимост от втора степен, както се вижда на фиг. 21.



**Фигура 21.** Графика на отклоненията на интензитета на звука от устройството UNI-T UT352 с интерполирана зависимост от калибрирането

След повторното измерване беше необходимо ръчно да се коригира споменатото уравнение на тенденцията и едва след това коригираната му версия беше включена в двете версии на програмата. Поради липсата на филтри за претегляне на честотата в звукомера Arduino, това калибриране ще работи само в случай на бял случаен шум като източник на шум. При измерване на други звукови стимули резултатите от измерването ще се различават. Друг критичен фактор, влияещ върху точността на измерването, е качеството на микрофона и използваната електроника. Търговските шумомери използват висококачествени измервателни микрофони с точно определени параметри и по-сложна и значително по-качествена електроника.

### 3.2.5. Събиране на данни от шумомер чрез компютър

Както вече споменахме в текста по време на конструирането на метеорологичната станция, за самото събиране на данни с помощта на компютър можем с предимство да използваме една от свободно достъпните програми, които могат да записват данни, изпратени чрез серийно предаване от Arduino през USB конектора, в текстов файл. Програмата CoolTerm се оказа най-добрата за нас; последната ѝ версия е свободно достъпна онлайн (CoolTerm, 2022).

Тъй като разгледахме въпроса за събирането на данни по-подробно по време на създаването на метеорологичната станция, а също така подготвихме подробно ръководство за това как да записваме данните и да ги получаваме в електронната таблица MS Excel, няма да се занимаваме с него в следващия текст.

### 3.2.6. Как да работим със звукомер на Arduino

При работа с измервател на нивото на звука е необходимо да се процедира по следния начин:

- Можем да захраним устройството с адаптер от 6 V до 15 V DC или чрез USB конектор, като използваме USB адаптер или компютър, в случай че искаме да запишем измерените данни.
- След включването е необходимо да се зададе работната точка. Това се постига с помощта на два потенциометъра в дясната част на устройството. Настройката



трябва да се извърши в тихо помещение, за да се елиминират максимално околните шумове. Като използваме по-груба и по-фина настройка, се опитваме да зададем ниво на напрежението на дисплея до  $(1,63000 \pm 0,00005) V$ . Когато работната точка е достигната, програмата за измерване на звука на Arduino е настроена да не показва стойност, по-ниска от 25 dB. Тъй като електронният шум е много значителен при толкова близки стойности до работната точка, устройството все пак ще показва неправилни стойности.

- Оставете звукомера да се загрее след включването му; в противен случай работната точка ще се измести значително. След като го включим, можем да използваме звукомера Arduino за кратки измервания. Ако искаме да записваме шума на околната среда в продължение на десетки минути или повече, по-добре е да изчакаме около пет минути, за да може електрониката да загрее до работната температура.
- Да предположим, че записваме данни с помощта на компютър, например чрез програмата CoolTerm. В този случай е най-добре да зададете работната точка на шумомера едва след включване на серийната комуникация, т.е. след започване на измерването и записването на стойностите. В противен случай, ако зададем работната точка преди започване на серийния пренос, тя ще се премести след започването му.
- За дългосрочно измерване работната точка на шумомера трябва да се настройва от време на време.

### 3.3. Задачи

#### 3.3.1. Измерване на нивото на шума в помещението

Шумът в помещението, независимо дали у дома или на работното място, може да бъде уморителен и стресиращ. Например при дейност, при която комуникацията е съществена част от извършваната работа и при която има високи изисквания за точност, бързина или внимание, нивото на интензивност на звука не трябва да надвишава стойността от 50 dB. Колко шумно е на работното място или къщи? Нека го измерим.

**Цел на измерването:** Целта на експеримента е с помощта на прост звукомер да се измери нивото на интензивност на звука в работната или домашната среда в продължение на няколко десетки минути и да се оцени нивото на шума в помещението.



##### 3.3.1.A. Процедура по измерване

- Експерименталната инсталация се състои от звукомер Arduino с компютър. Качваме програма с измерване на медианата на звукомера Arduino (той е подходящ за бързи промени в шума).
- Свързваме звукомера към компютъра в стаята, в която искаме да запишем данните.
- Стартираме програмата CoolTerm и записваме данните за нивото на интензивност на звука в текстов файл.

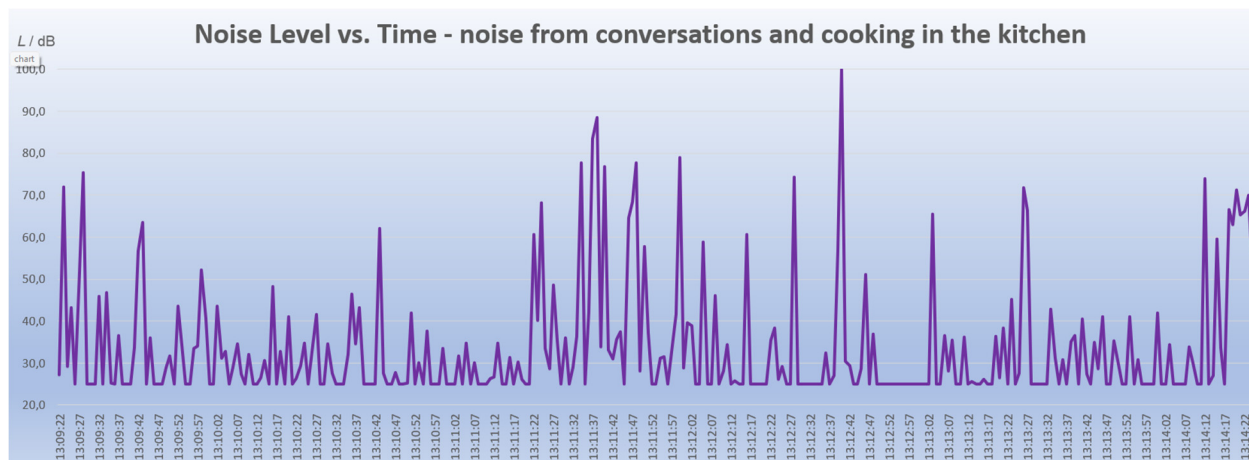
- Сега пристъпваме към самото калибриране – за да калибрираме шумомера, е необходим момент на тишина в стаята.
- След калибрирането отбележете началото на измерването, както и данните в текстовия файл, които няма да ни трябват и които сме записали преди калибрирането (нивомерът за измерване на нивото на звука трябва да се калибрира само след започване на съхраняването на данните. В противен случай работната му точка ще се премести и шумомерът ще показва неправилни стойности).
- Записваме данни, например половин час, като непрекъснато проверяваме настройката на работната точка, когато в стаята е тихо. Ако е необходимо, ще я настроим прецизно.
- Ще приключим измерването след около 30 минути или до един час (записали сме около 1800 до 3600 стойности на нивото на интензитета на звука).

### 3.3.1.V. Анализ на данните

Прехвърлете данните от текстовия файл в Excel и съставете таблица и диаграма – можете да видите примерна диаграма на изображението по-долу.

Ако сте записали началото на измерването, нанесете времето по оста x във формат hh:mm:ss.

Наблюдавайте времевия ход на шума в стаята и се опитайте да отговорите на следните въпроси (като използвате графика или директно от таблицата с измерените стойности).

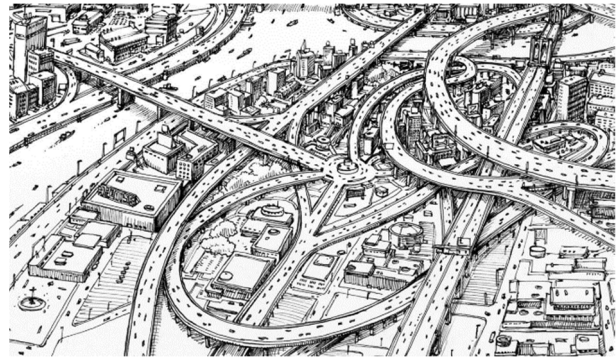


Дата: \_\_\_\_\_

- Максималното измерено ниво на интензивност на звука на улицата е \_\_\_\_dB.
- То е измерено във времето от \_\_\_\_ : \_\_\_\_ : \_\_\_\_ до \_\_\_\_ : \_\_\_\_ : \_\_\_\_ .
- Минималното измерено ниво на интензитета на звука, показано от шумомера отвън, е \_\_\_\_dB.
- Разликата между максималното и минималното ниво на интензивност на звука е \_\_\_\_dB.
- Най-голямото увеличение на нивото на интензивност на звука на открито е настъпило във времето до \_\_\_\_ : \_\_\_\_ : \_\_\_\_ .

### 3.3.2. Измерване на шума в мястото на пребиваване или в училището

**Въведение:** Шумът в градовете, по улиците, най-често се причинява от трафика. Затова главните пътища се изграждат като обходни пътища, за да се предпазят населените места. Шумът от трафика зависи главно от вида на транспортното средство, както и от броя на автомобилите, движещи се по пътя, и от тяхната скорост.



Какво е нивото на шума на улиците, пътищата и кръстовищата около вашия дом или училище? Има ли места, където шумът е твърде силен?

**Цел на измерването:** Този експеримент определя кои улици около вашия дом или училище са най-шумни.

#### 3.3.2.A. Процедура по измерване

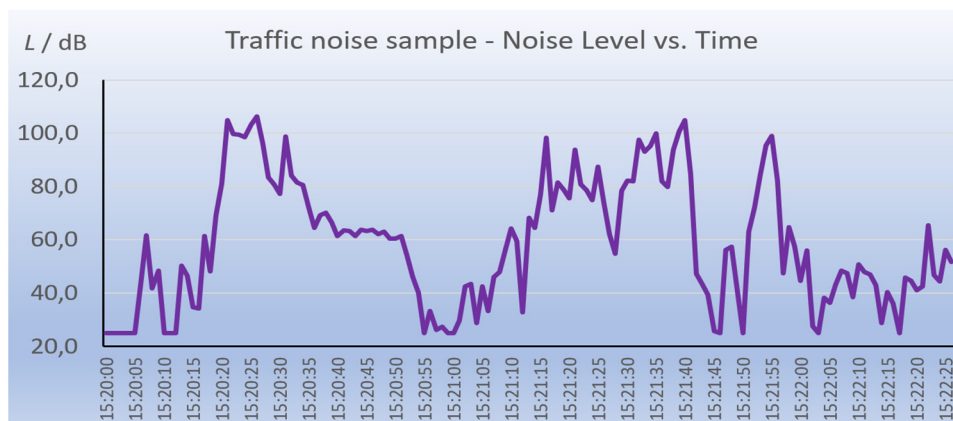
- Експерименталната инсталация се състои от звукомер Arduino и лаптоп. Качваме програма, измерваща пълзящата средна стойност, на звукомера Arduino.
- Свързваме звукомера към лаптопа навън, където искаме да запишем данните. Ако не можем да излезем навън по различни причини (напр. поради метеорологичните условия), ще използваме запис на шума от движението, изтеглен от интернет, който ще възпроизведеме с помощта на активни високоговорители. Различни записи са достъпни, например на страницата: <https://www.videvo.net/royalty-free-sound-effects/traffic/>.
- Стартираме програмата CoolTerm и записваме данните за нивото на интензитета на звука в текстов файл.
- Сега пристъпваме към самото калибриране – за да калибрираме измервателя на нивото на звука, ни е необходим момент на тишина в стаята.
- След калибрирането отбелязваме началото на измерването, както и данните в текстовия файл, които няма да ни трябват и които сме записали преди калибрирането (звукомерът трябва да се калибрира само след започване на съхраняването на данните; в противен случай работната точка ще се премести и звукомерът ще показва неправилни стойности).
- Записваме данни, напр. половин час по време на разходка из града, като непрекъснато проверяваме настройката на работната точка, когато околността е тиха. Ако е необходимо, ще я прецизираме.
- Ще приключим измерването след около 30 минути или до един час (записали сме около 1800 до 3600 стойности на нивото на интензивност на звука).

#### 3.3.2.B. Анализ на данни

Прехвърлете данните от текстовия файл в Excel и съставете таблица и диаграма – можете да видите примерна диаграма на изображението по-долу. Това е запис на шума от движението с продължителност около 2,5 минути, който е свободно достъпен в интернет.

Ако сте записали началото на измерването, нанесете времето по оста x във формат hh:mm:ss.

Наблюдавайте времевия ход на шума в екстериора и се опитайте да отговорите на следните въпроси (като използвате графика или директно от таблицата с измерените стойности).



Дата: \_\_\_\_\_

- Максималното измерено ниво на интензивност на звука на улицата е \_\_\_\_\_ dB.
- То е измерено във времето от \_\_\_\_:\_\_\_\_:\_\_\_\_ до \_\_\_\_:\_\_\_\_:\_\_\_\_.
- Минималното измерено ниво на интензивност на звука, показвано от шумомера отвън, е било \_\_\_\_\_ dB.
- Разликата между максималното и минималното ниво на интензивност на звука е \_\_\_\_\_ dB.
- Най-голямото увеличение на нивото на интензивност на звука на открито е настъпило във времето до \_\_\_\_:\_\_\_\_:\_\_\_\_.

### 3.3.3. Как се променя нивото на интензивност на звука в зависимост от разстоянието?

**Въведение.** Шумът често е нежелано звуково явление, което оказва неблагоприятно въздействие върху човешкото здраве и психология. Редовното излагане на силен шум може да окаже неблагоприятно въздействие върху слуха и да доведе до увреждане на ушите, поради което законодателните стандарти и насоки определят максимално допустимите нива на шума в различни среди с цел защита на общественото здраве. Нека да опитаме как можем да измерим шума и намаляването му с разстоянието от източника.

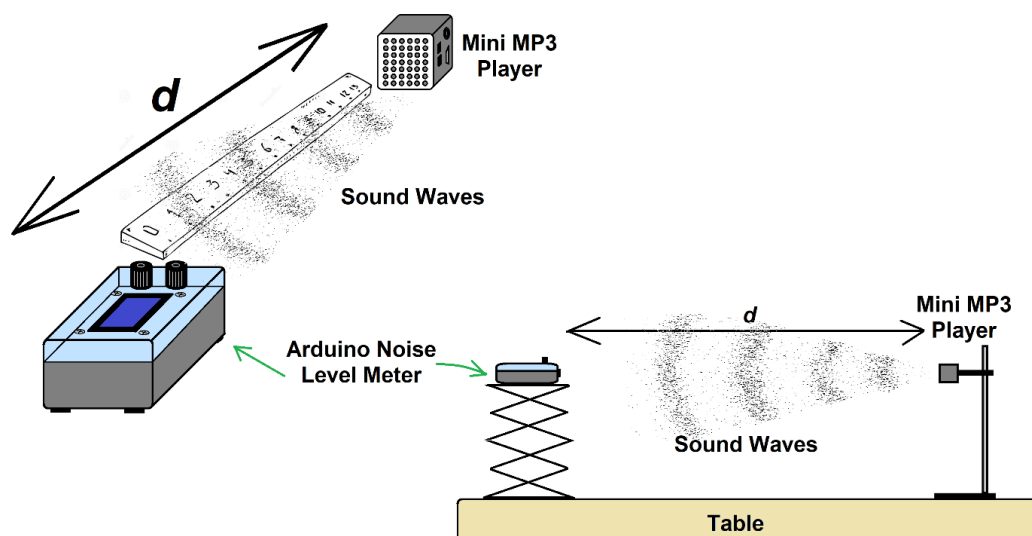


**Цел на измерването:** Целта на този експеримент е да се измери намаляването на интензитета на звука с разстоянието с помощта на обикновен звукомер. Обработете получените данни, например в средата на MS Excel, и потвърдете изпълнението на теоретичното предположение за намаляване на шума с 6 dB при удвояване на разстоянието от източника на звук.

#### 3.3.3.A. Процедура по измерване

Експерименталната инсталация се състои от звукомер Arduino, мини MP3 плейър, стойки, рулетка или по-дълга линейка за измерване на разстоянието.

- Подредете експеримента според картинката. Поставете шумомера и MP3 плейъра на разстояние 5 cm един от друг. Звукомерът и MP3 плейърът трябва да са на височина най-малко 50 cm над масата. В противен случай плотът на масата ще изкриви измерванията, тъй като ще отразява звука. Измерването работи най-добре, ако измервателят на нивото на звука и източникът на звук са на отделни маси с разстояние между тях.
- Не е необходимо да свързвате измервателя на нивото на звука с компютър. Достатъчно е да го захраните, например чрез адаптер 9 V DC.
- Включете измервателя на нивото на звука, като го свържете към адаптера, и се уверете, че в стаята е тихо. С помощта на потенциометрите внимателно настройте работната точка на шумомера, така че да отчита 25 dB (версията на програмата за измерване на пълзящи средни стойности е най-подходяща за измерване).
- Включете MP3 плейър с инсталиран звуков файл с бял шум и регулирайте силата на звука, така че шумомерът да отчете около 90 – 100 dB.
- Запишете стойността на шума за 5 cm.
- Постепенно преместете MP3 плейъра с пет сантиметра до 1 m и винаги запишвайте нивото на шума в децибели. Ако стойностите не намаляват или, напротив, намаляват твърде много, изключете MP3 плейъра и прецизирайте стойността на работната точка или повторете измерването.
- Записвайте стойностите на разстоянието и нивата на интензивност на звука в таблица, например в Excel.
- Опитайте се да повторите измерването при различни условия, напр. оставете източника на звук и измервателя на нивото на звука на масата и увеличете разстоянието между тях, заменете източника на звук с друг (напр. повече високоговорители) или с уред, като сешоар, прахосмукачка и др. Опитайте се да използвате различен звуков сигнал за измерването (напр. генерирайте синусоидален сигнал с честота 1 kHz в Audacity и др. и сравнете резултатите. В същото време се опитайте да отговорите на въпросите в раздела Анализ на данните.



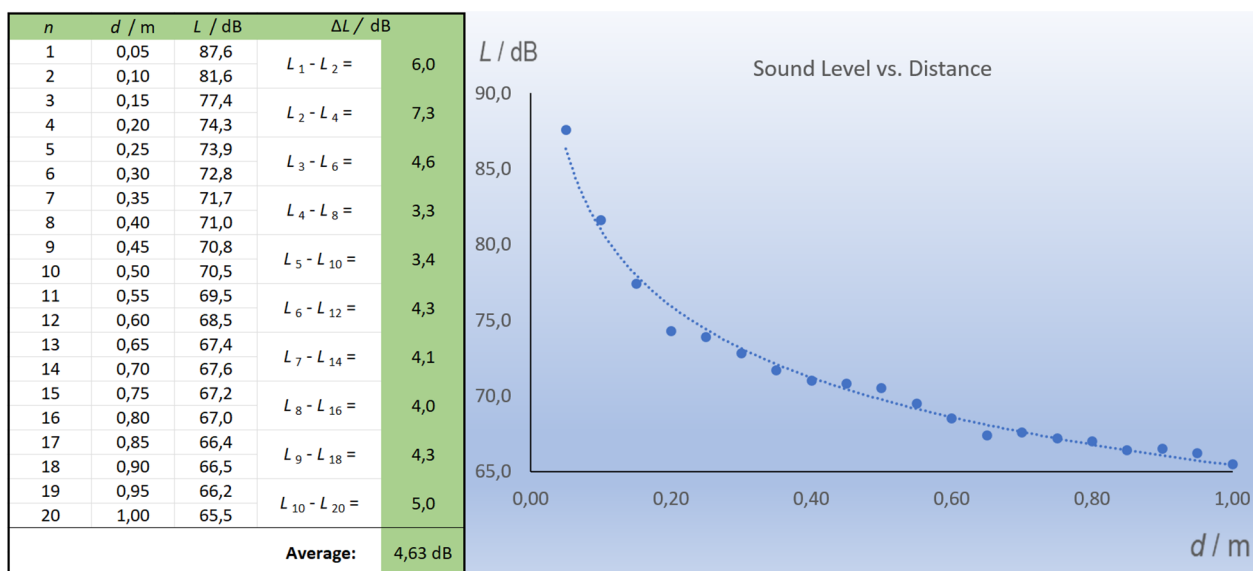
Фигура 22. Разположение на експеримента

### 3.3.3.B. Анализ на данни

Съставете таблица и графика от записаните стойности, както е показано на фигурата по-долу. Също така изчислете разликата между нивата на интензивност на шума за два пъти по-големи разстояния, както е показано на фигурата с таблицата и графиката. Например, стойност от 6,0 dB съответства на разликата в шума на разстояния от 5 cm и 10 cm; стойност от 7,3 dB представлява разликата между разстояния от 10 cm и 20 cm и т.н.

Запишете получените стойности на разликата в нивата и в таблицата.

Както можете да видите, идеалното правило за разпространение на шума от точков източник е изпълнено приблизително само в нашия случай – средният спад на два пъти по-голямо разстояние е 4,63 dB.



Отговорете на следните въпроси въз основа на (собствени) измерени данни.

Дата: \_\_\_\_\_

- Максималното измерено ниво на интензивност на звука е \_\_\_dB.
- Минималното измерено ниво на интензивност на звука е \_\_\_dB.
- Разликата между максималното и минималното ниво на интензивност на звука е \_\_\_dB.
- Записахме най-големия спад в нивото на интензитета на звука на най-дългото/ най-малкото разстояние между източника на звук и шумомера (зачеркнете, ако е приложимо).
- Средната разлика в нивата на интензивност на звука при удвояване на разстоянието между източника и шумомера е \_\_\_dB.
- Тази стойност на разликата е *точно* / *приблизително* / *не е* в съответствие с теоретичните предположения (зачеркнете, ако не е приложимо).

## Literaturni iztochnici

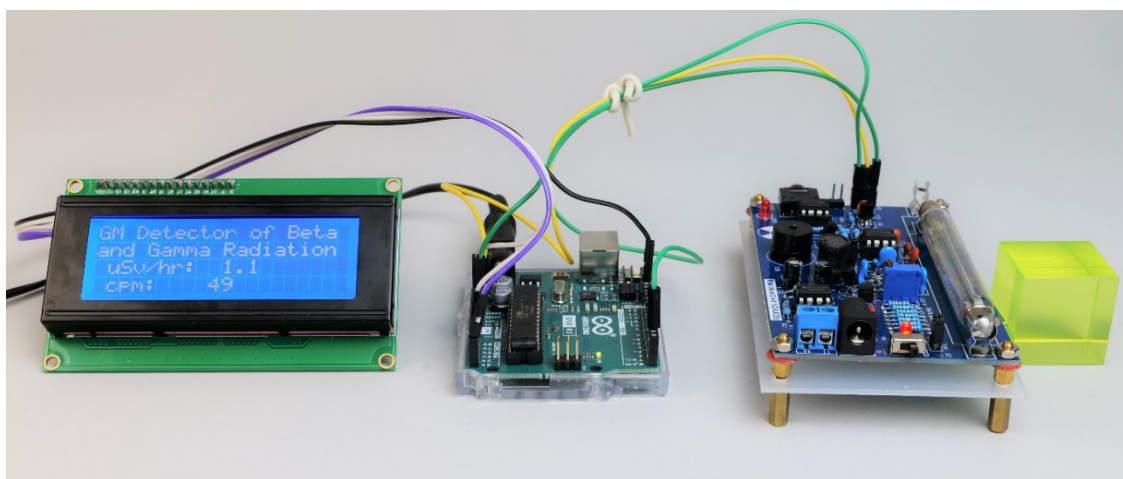
- Degro, J. (2009). Školské experimenty s hlukomerom. Košice, UPJŠ. [online] [cit. 2023-06-27] <<https://physedu.science.upjs.sk/degro/pokus/expzvuk/ExpZvukHI.pdf>>.
- Vyhláška č. 549/2007 Z. z. (2007). Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií v životnom prostredí. [online] [cit. 2023-06-27] <<https://www.zakonypreludi.sk/zz/2007-549>>.
- Gray, R. M.; Neuhoff, D. L. (1998). Quantization. IEEE Transactions on Information Theory. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 44 (6): 2325–2383.
- Adafruit (2023). [online] [cit. 2023-06-27] <<https://www.adafruit.com/product/1063>>
- Datasheet LP295x-N Series. (2017). [online] [cit. 2023-06-28] <[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2950-n.pdf?HQS=dis-mous-null-mouser-mode-dsf-pf-null-ww&ts=1687892430482&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.mouser.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2950-n.pdf?HQS=dis-mous-null-mouser-mode-dsf-pf-null-ww&ts=1687892430482&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.mouser.com%252F)>
- Calculation of Frequency Weightings (1996). [online] [cit. 2023-06-28] <[https://web.archive.org/web/20061210125050/http://www.measure.demon.co.uk/Acoustics\\_Software/a\\_weight.html](https://web.archive.org/web/20061210125050/http://www.measure.demon.co.uk/Acoustics_Software/a_weight.html)>
- Frequency-Weightings for Sound Level Measurements (2023). [online] [cit. 2023-06-29] <<https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/frequency-weightings-for-sound-level-measurements>>
- Sound Level Frequency Weightings – A, B, C, D, Lin, Z. (2023). [online] [cit. 2023-06-29] <<https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/frequency-weightings-for-sound-level-measurements>>
- Výber spotrebiča podľa hladiny hluku (2019). [online] [cit. 2023-06-29] <<https://www.topbyvanie.sk/magazin/vyber-spotrebica-podla-hladiny-hluku>>

## ГЛАВА 4. КАК ДА НАПРАВИМ ГАЙГЕР-МЮЛЕРОВ БРОЯЧ, КАТО ИЗПОЛВАМЕ МИКРОКОНТРОЛЕР?

Тази глава е написана от Мартин Хрушка  
от Университета „Матей Бел“ в Банска Бистрица, Словакия.

### 4.1. Теория

Ако трябва да се измери йонизираща радиация, може да си конструираме прост Гайгер-Мюлеров брояч (GM) (Фиг. 1) с дисплей от течен кристал (LCD) на основата на Arduino Uno микроконтролер.



**Фигура 1.** Опростен GM детектор с микроконтролер Arduino Uno; отляво надясно: LCD, Arduino Uno, GM детектор, куб от ураново стъкло

Данните за измерените количества, описани накратко по-долу, могат лесно да бъдат показани на дисплея или записани в текстов файл чрез серийната връзка на детектора Arduino GM към компютъра с USB кабел.

Проектирахме GM детектора да бъде лесно конструиран с помощта на няколко достъпни модула (Arduino, дисплей, комплект GM детектор с тръба) и е лесен за работа, особено по време на демонстрационни експерименти с йонизиращо бета и гама лъчение.

#### 4.1.1. Йонизиращо лъчение и неговото измерване

Йонизиращото лъчение е високоенергийно лъчение с достатъчно енергия, за да отстрани електрон от атом или молекула. Такова лъчение може да причини химически промени в клетките и да увреди ДНК, водещо до рак. Алфа лъчение (образувано от хелиеви ядра) и бета лъчение (образувано от електрони или позитрони) могат да йонизират директно. Гама лъчите (високоенергийни фотони, произхождащи от ядрото на атома) йонизират индиректно. Нашият детектор Arduino може да открие бета и гама радиация.

Едни и същи дози от различни видове радиация могат да имат различни биологични ефекти, но като цяло е вярно, че трябва да се предпазвате от йонизиращо лъчение. Най-често се предпазваме от въздействието му, като поддържаме достатъчно разстояние от



източника на радиация, защитаваме се с различни материали и време – стараем се да съкратим престоя си в пространството с радиация до възможно най-кратко време.

Въпросът за биологичното въздействие на йонизиращото лъчение е много сложен. Затова дори не си поставяме за цел да ги дефинираме подробно в следващия текст, а само изброяваме най-важните от наша гледна точка. Например съответните им дефиниции могат да бъдат намерени в цитираните по-долу литературни източници и в действащото законодателство.

Основната величина, изразяваща биологичния ефект на отделните видове лъчения чрез радиационен тегловен коефициент, е еквивалентната доза, изразена в единици сиверт (Sv).

Друга величина, която изразява биологичния ефект на радиацията върху човека, е дозовият еквивалент, въведен основно за нуждите на персоналната дозиметрия. Изразява се също в единици сиверт (Sv) и описва биологичната ефективност на различни видове радиация в меките тъкани на определена дълбочина, като се използва качествен фактор.

Еквивалентът на дозата е, например, в системата за мониторинг на Словашкия хидрометеорологичен институт (SHMÚ), измерен под формата на въведен еквивалент на доза в единици nSv/h, т.е. д. нано сиверт на час (SHMÚ – Rádioaktivita, 2023). GM детекторът, описан по-долу, също показва това количество – въведената еквивалентна доза.

Друга величина, свързана с биологичните ефекти на радиацията, е ефективната доза. Ефективната доза се изчислява като сбор от претеглените еквивалентни дози във всички органи и тъкани, умножени по съответния тъканен тегловен коефициент – число, изразяващо различните биологични ефекти на радиацията (Nikodemová and Cabáneková, 2009).

Във Таблица 1 е направен преглед на годишните ефективни дози радиация от различни места на облъчване, причинени от естествени източници на йонизиращо лъчение.

**Таблица 1:** Преглед на годишните ефективни дози радиация от различни места на облъчване (Служба за ядрен надзор на Словашката република, 2022 г.)

Източник на радиация		Годишна ефективна доза [mSv]	
		Средно	Типичен диапазон
Космическа радиация	Директно йонизиращ и фотонен компонент	0,28	0,3 – 1,0
	Неутронен компонент	0,1	
	Космогенни радионуклиди	0,01	
	Заедно	0,39	
Външно земно излъчване	При престой на открито	0,07	0,3 – 1,0
	При престой в сгради	0,41	
	Заедно	0,48	
Вдишване	Серии от разпадане на уран и торий	0,006	0,2 – 10
	Радон <sup>222</sup> Rn	1,15	
	Радон <sup>220</sup> Rn	0,1	
	Заедно	1,26	
Поглъщане (приемане с храна)	Калий <sup>40</sup> K	0,17	6

Трябва да се каже, че няма граница между „безопасна“ и „опасна“ доза – рискът от дългосрочни ефекти от йонизиращото лъчение се основава на вероятността.

Детекторът GM, използван за откриване на йонизиращо лъчение, е кръстен на физиците Ханс Гайгер и Валтер Мюлер, които са го разработили през 20 век. GM детекторите се основават на принципа на газовата йонизация. Те съдържат газов пълнеж, който се йонизира, когато йонизиращото лъчение преминава през детектора. Йонизацията на газа води до образуване на електрически импулси, засечени и записани от детектора. Детекторите записват броя импулси за фиксирано време, например за секунда (cps – брой за секунда) или за минута (cpm – брой за минута), както и нашият детектор. Принципът на работа на GM детектора е общоизвестен и описан в много уебсайтове под формата на текстове, изображения, анимации и видеоклипове, напр. (Abbas, 2022).

Преизчисляването на броя на импулсите за еквивалентна доза или към въведената еквивалентна доза не е лесно, тъй като няма прост коефициент на преобразуване – число, чрез което би било възможно да се реализира. Затова е най-добре да калибрирате дадения GM детектор по друг надежден детектор или да разчитате на данните на производителя на конкретната тръба за GM детектора.

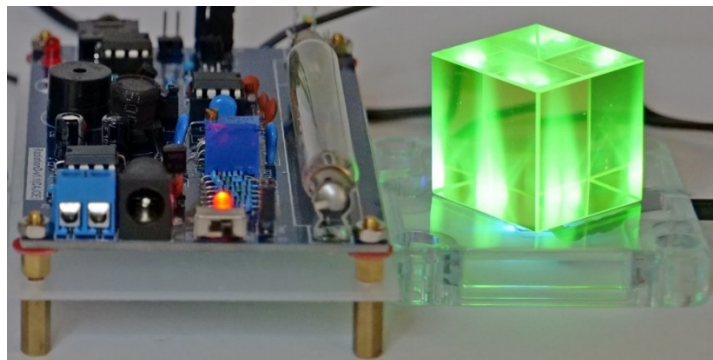
Повече за въпроса за йонизиращото лъчение и неговото измерване можете да намерите в много източници, които също са достъпни в Интернет (Úrad jadrového dozoru SR, 2022), (Holá, 2009), (WHO, 2022), (Ryan, 2012), (Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2023), (United States Nuclear Regulatory Commission, 2020), etc.

#### 4.1.2. Кратко описание на отделните компоненти на GM детектора

Ние използваме детектора GM във Физическия факултет на Факултета по естествени науки, Университет Матей Бел в Банска Бистрица, като демонстрационно устройство, поставено във витрини в коридора на факултета. Следователно детекторът GM не се монтира в монтажна кутия, а се състои от отделни елементи.

LCD, микроконтролерът Arduino Uno и GM детекторът с тръба са свързани с кабели. Малко парче ураново стъкло (фиг. 2) служи като източник на радиоактивно излъчване. UV светодиоди го осветяват. (Урановият оксид флуоресцира в зелено под UV-A лъчение с максимална дължина на вълната 360 nm.)

Използването на GM детектор за измерване в лаборатория в такава конфигурация е опасно, тъй като може да има високо напрежение около 500V в краищата на детекторната тръба!!! За да го използвате в лабораторията, препоръчваме да покриете GM детектора с прозрачен плексиглас или да го поставите в монтажна кутия, така че кутията да съдържа изрез за активната част на GM детекторната тръба; не трябва да има излишен материал между радиоактивния излъчвател и детекторната тръба.



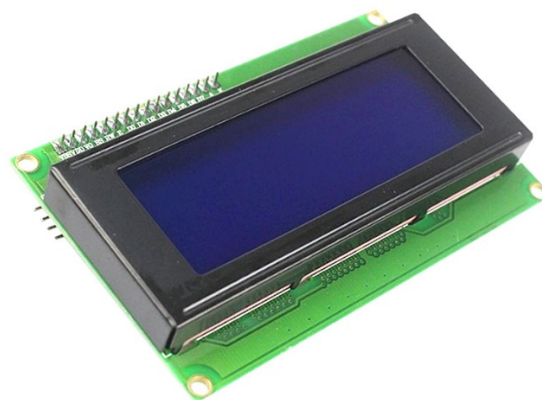
**Фигура 2.** Изглед на GM детектора с тръбата и куба от ураново стъкло, осветени от LED UV-A диоди

- **Arduino Uno, LCD 20 x 4 със синя подсветка**

Както беше споменато, простата конструкция на Arduino GM детектора изисква микроконтролер Arduino Uno и течнокристален дисплей (фиг. 3а, б).



a)



b)

Фигура 3. Микроконтролер Arduino Uno (a) заедно с LCD дисплей (b)

- **GM детектор**

GM детекторът, обозначен като RadiationD-v1.1(CAJOE) (фиг. 4), с коаксиална цилиндрична детекторна тръба, може да открива бета и гама лъчение със специфична енергия в зависимост от използваната ГМ тръба. Тръбата GM J305β съдържа катод от капаен оксид. Тръбата се пълни с инертен газ с халогенна примес за импулсно гасене.



Фигура 4. GM детектор RadiationD-v1.1(CAJOE) с J305β тръба

Общият размер на фона достига стойност от около 25 срт, а продължителността на живота му е повече от 1 109 импулса. Граничната стойност на работното напрежение е 550 V, а диапазонът на работното напрежение е от 380 V до 450 V. Тъй като това е евтина GM тръба „Noname“ китайско производство, ще предпочетем да прочетем за техническите характеристики на различни бизнес страници. Сравнение на параметрите на няколко GM-лампи е достъпно в интернет, например (IoT-devices, 2023).

Подобна е ситуацията и в случая с GM детектора. Основните параметри можем да намерим основно на уебсайтовете на китайски търговци (Banggood.com, 2023). Възможно е да се закупят няколко различни версии на детектора GM, които (подобно на нашето устройство) могат да комуникират с различни микроконтролери или дори с миникомпютри, като Raspberry Pi. Например, по-подробна информация за специфичното свързване и функционалността на свързания с него GM детектор Libelium със същата GM тръба J305β (Laquaí, 2014) е полезно.

Използваният от нас GM детектор комуникира с микроконтролера Arduino чрез извод VIN (и, разбира се, също така GND), който трябва да бъде свързан към извод D2 на Arduino.

Този извод е зададен като вход в програмата и се използва за записване на импулсите на GM детектора.

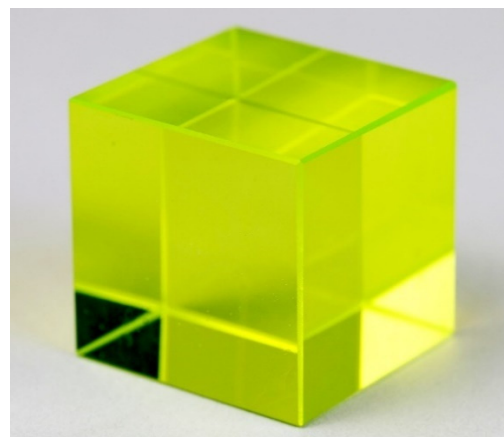
Както ще обясним по-долу, когато ще коментираме програмата за GM детектора на Arduino, Arduino реагира на падане на напрежението на пин D2 или на неговия падащ фронт – падането на напрежението води до увеличаване на дадената променлива с единица. Изводите GND и 5 V DC захранват GM детектора. Разбира се, детекторът може да се захранва и от други външни източници, например акумулатор или батерии.

- **Минерал уранинит (смола) и ураново стъкло**

Решихме да използваме естествени източници на радиоактивност за лесно измерване на радиоактивността. Това са предимно минерали, които съдържат уранов диоксид, като например уранинит (по-старо наименование pitchblende). Минералът, който използвахме (фиг. 5а), е пясъчник с уранова минерализация (уранинит), образуваща черна наклонена ивица в долната част на минерала. Възрастта на скалата се оценява на пермска, т.е. преди около 290 до 250 милиона години. Скалата е открита в Словакия. За демонстрационни цели използваме и ураново стъкло (фиг. 5б), което съдържа уранов диоксид. Според общоприложимото законодателство урановото стъкло не може да съдържа повече от 1% (тегловно) уран. (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2004).



a)



b)

**Фигура 5.** Минерал уранинит (a) проба от ураново стъкло (b)

Интересно е, че в днешно време обедненият уран се използва за производството на ураново стъкло, в което съотношението на изотопите  $^{238}\text{U} : ^{235}\text{U} = 40 : 1$ , тъй като изотопът  $^{235}\text{U}$  се използва в атомните електроцентрали, а също и във военната промишленост. В урановото стъкло, произведено преди Втората световна война, съотношението на тези изотопи е  $25 : 1$  (Tenzler, 2016).

Поради малкото съдържание на уран стъклото излъчва радиоактивни алфа, бета и гама лъчения, които възникват спонтанно по време на превръщането на радионуклидите, т.нар. уранови или урано-радиеви серии на разпад (United States Environmental Protection Agency, 2023). Първият ѝ член е урановият изотоп  $^{238}\text{U}$ , който съставлява 99,27% от целия естествен уран. Минералът уранинит, използван за измерване, съдържа повече естествен уран от урановото стъкло и е източник на по-силно йонизиращо лъчение.

Интересно е, че гама-лъчението в серията на разпада на урана се излъчва главно от продуктите на разпада на  $^{226}\text{Ra}$ . Следователно наличието на уран в скалите се определя косвено чрез измерване на гама-лъчението (Matolín, 1970).

## 4.2. Лабораторна конфигурация

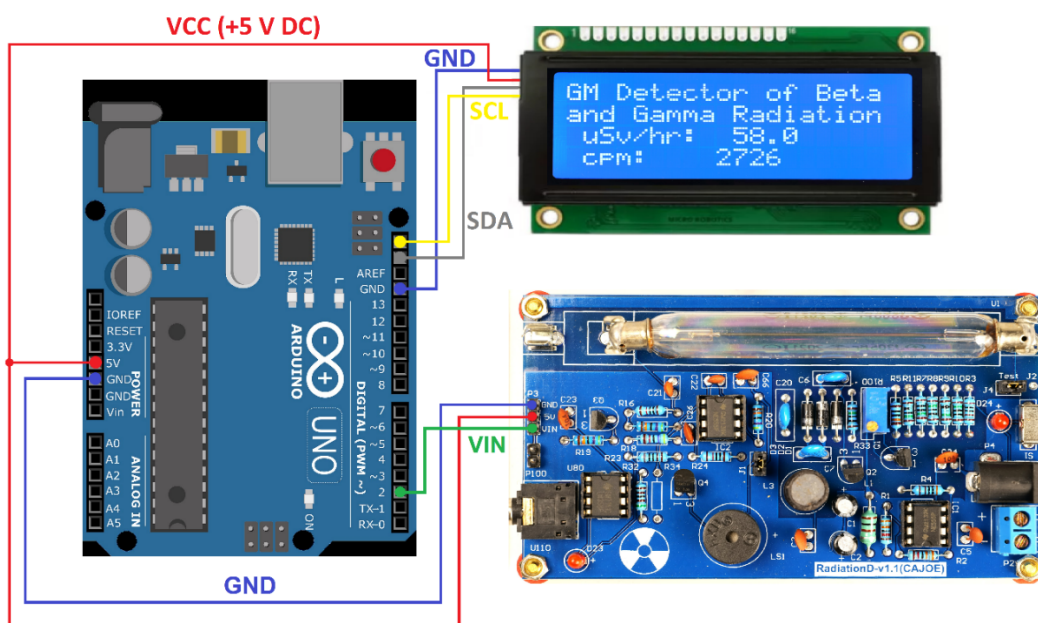
### 4.2.1. Описание на свързването и конструкцията на детектора Arduino GM

Схемата на свързване на микроконтролера Arduino Uno с LCD дисплей и GM детектор е показана на фиг. 6. Както вече беше споменато в описанието на метеорологичната станция, както и в описанието на измервателя на нивото на звука, LCD дисплеят използва серийния интерфейс I<sup>2</sup>C за комуникация с микроконтролера Arduino Uno.

Следователно предаването на данни се осигурява само с помощта на два проводника. Проводникът, обозначен като SCL (Serial Clock), се използва за тактово синхронизиране на комуникацията, а другият проводник, обозначен като SDA (Serial Data), се използва за предаване на данни. Освен това дисплеят се захранва с помощта на проводниците GND и 5V DC.

GM детекторът се нуждае от три проводника за свързване с Arduino – два от тях (GND и 5V DC) за захранване, а третият (VIN), който се свързва с цифровия извод на Arduino (D2), се използва за отчитане на импулсите на детектора.

Връзката ще се осъществи с помощта на проводници; проводниците с клеми DuPont тип M (мъжки) и F (женски) са най-подходящи за свързване към Arduino. Пример за такива проводници има в главата, свързана с метеорологичната станция и прост звукомер Arduino.



Фигура 6. Свързване на детектора Arduino GM

## 4.2.2. Програмиране на GM детектора на Arduino и описание на програмата

Програмата Arduino на детектора GM периодично измерва броя на импулсите (срт) в продължение на 10 секунди и изчислява входящата еквивалентна доза в единици  $\mu\text{Sv/h}$ . След това тези стойности се показват на LCD дисплея и се записват чрез серийно предаване към компютъра.

```
geiger.ino
1 // GM Detector of Beta and Gamma radiation, Martin Hruška, 2023
2 // Launch the necessary libraries
3 #include <Time.h>
4 #include <TimeLib.h>
5 #include "LiquidCrystal_I2C.h"
6 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
7 // Connect the GND pin on Arduino to the GND pin on the Geiger counter.
8 // Connect the 5V pin on Arduino to the 5V pin on the Geiger counter.
9 // Connect the VIN pin on the Geiger counter to the D2 pin on Arduino.
10
11 unsigned long counts; // variable for GM Tube events
12 unsigned long previousMillis; // variable for measuring time
13 #define LOG_PERIOD 10000 // count rate is 10000 ms or 10 s
14 #define usv_multiplier 0.05 // Due to Vernier Digital Radiation Monitor TH30044
15 #define cpm_multiplier 2.3456 // For the J305β tube
16
17 void impulse() {
18     counts++;
19 }
```

Фигура 7. Уводната част на програмата за GM детектор на Arduino

В първата част на програмата (фиг. 7) се зареждат библиотеките *Time.h* и *LiquidCrystal\_I2C.h*, които са необходими за работа с времето и за управление на LCD дисплея.

Забележка: Символът за двойна наклонена черта „//“ в програмата означава, че текстът след него ще бъде игнориран. Затова тук можем да напишем обяснителни коментари за отделни части на програмата.

Дефинирани са и променливи, свързани с измерванията на броя на импулсите (променлива *counts*) и времето (променлива *previousMillis*). Интервалът на измерване е зададен на 10 s, а коефициентите на преобразуване за изчисляване на срт и мощността на еквивалентната доза в  $\mu\text{Sv/h}$ . Втората посочена стойност е коригирана в съответствие с резултатите от измерванията, получени с помощта на детектора Vernier на GM с типово обозначение TH30044 (фиг. 8). Накрая, в началото на програмата е декларирана функцията *impulse()*, в рамките на която импулсите ще бъдат преброени чрез променливата *counts*.



Фигура 8. Измерване на активността на уранинит с помощта на GM детектор Vernier TH30044

В частта за инициализация на програмата `void setup()` се инициализира свързаният хардуер – серийна комуникация за възможна връзка с компютъра чрез USB и LCD (фиг. 9). Не е необходимо да се инициализира GM детекторът. Тъй като той генерира импулси на напрежение, достатъчно е да се зададе цифров извод № 2 на свързания Arduino като вход и да се създаде външно прекъсване на функцията `impulse()`.

Тази функция се задейства при всеки падащ фронт на сигнала за напрежение на входния щифт № 2. Същевременно тя увеличава броя на променливите с единица (функцията `counts++` е съкратен запис за увеличаване на стойността на променливата брой с 1). Този израз е еквивалентен на записването на `counts = counts + 1` или `counts += 1`, където операцията се нарича инкрементиране. Във функцията `setup()` променливата `counts` също се инициализира на 0.

Такава настройка на функцията `impulse()` ни позволява да проследим общия брой импулси, открити през определен период (в нашия случай 10 s).

В следващата стъпка, чрез серийната комуникация и дисплея, ще запишем основната информация за детектора и символите, които не се нуждаят от актуализиране по време на измерването (`cpm` и  $\mu\text{Sv/hr}$ ).

```
21 void setup()
22 {
23     lcd.init();
24     lcd.backlight();
25     Serial.begin(9600);
26     pinMode(2, INPUT);
27     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), impulse, FALLING); // define external interrupts
28     counts = 0;
29     Serial.println("GM Detector of Beta and Gamma Radiation");
30     Serial.println(" cpm:  \u00b5Sv/hr:");
31     lcd.setCursor(0,0);
32     lcd.print("GM Detector of Beta");
33     lcd.setCursor(0,1);
34     lcd.print("and Gamma Radiation");
35     lcd.setCursor(1,2);
36     lcd.print("\u00b5Sv/hr: ");
37     lcd.setCursor(1,3);
38     lcd.print("cpm:  ");
39 }
```

**Фигура 9.** Инициализация на хардуера

Основният цикъл на програмата (`loop()`) извършва измервания и изчисления (фиг. 10).

Променливите `usv` и `cpm`, които са от тип `String`, ни позволяват да записваме стойностите на дозовия еквивалент в микросиверти на час ( $\mu\text{Sv/hr}$ ) и импулси на минута (`cpm`) в текстова форма. Стойностите на мощността на дозовия еквивалент се изчисляват от стойността на `cpm` и се записват в тези променливи. След това те се изписват чрез серийния монитор и се показват на LCD дисплея.

В централната част на програмата променливата `currentMillis` се инициализира с функцията `millis()`, която връща броя милисекунди от стартирането на програмата.

Условието „if“ се използва за сравняване на разликата между `currentMillis` и `previousMillis`, като стойността на `LOG_PERIOD` е зададена на 10 000 ms. Това условие е изпълнено, ако е изминало посоченото време.

```

41 void loop()
42 {
43     String usv, cpm;
44     unsigned long currentMillis = millis();
45     if (currentMillis - previousMillis > LOG_PERIOD)
46     {
47         previousMillis = currentMillis;
48
49         if(counts != 0)
50         {
51             // Log the time
52             time_t t = now();
53             String time = String((minute(t) * 60) + (second(t)));
54
55             // Print in CPM
56             cpm = String(counts * cpm_multiplier,0);
57             Serial.print(" ");
58             Serial.print(cpm);
59             lcd.setCursor(9,3);
60             lcd.print("      ");
61             lcd.setCursor(9,3);
62             lcd.print(cpm);
63
64             // Print in µSv/hr
65             usv = String(counts * usv_multiplier, 1);
66             Serial.print(" ");
67             Serial.print(usv);
68             lcd.setCursor(10,2);
69             lcd.print("      ");
70             lcd.setCursor(10,2);
71             lcd.print(usv);
72
73
74         }
75
76         Serial.println();
77         counts = 0;
78     }
79 }

```

**Figure 10.** Основен цикъл на програмата за GM детектор на Arduino

В рамките на условието първо се проверява дали е открита поне една стойност на импулс от детектора GM (брой != 0).

Ако условието е изпълнено, програмата получава текущото време с помощта на функцията `now()` и го записва в променливата `t`. След това времето се преобразува в секунди (`minute(t) * 60 + second(t)`) и се записва в променливата `time`.

След това се изчислява входящата еквивалентна доза в единици  $\mu\text{Sv}/\text{час}$  (`count * usv_multiplier`) и се записва в променливата `usv`. Тази стойност се изписва на серийния монитор и на LCD дисплея на първия ред. По същия начин се изчислява броят на импулсите в единици `cpm` (`counts * cpm_multiplier`) и се записва в променливата `cpm`. Тази стойност също се извежда на серийния монитор и на LCD дисплея. В края на цикъла променливата `counts` се нулира на 0.



### 4.2.3. Събиране на данни чрез компютър

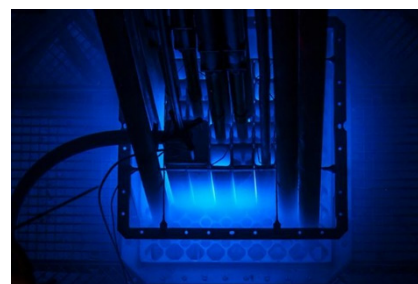
Както вече споменахме, за действителното събиране на данни с помощта на компютър можем с предимство да използваме някоя от свободно достъпните програми, които могат да записват данни, изпратени чрез серийно предаване от Arduino през USB конектора, в текстов файл. За нас най-добре работи последната версия на програмата CoolTerm.

## 4.3. Задачи

### 4.3.1 Как да използвате GM брояч при измерване и да се предпазвате от радиация (защита от разстояние)

В следващия раздел представяме предложение за дейности, насочени към защита от йонизиращи лъчения – разстояние и екраниране.

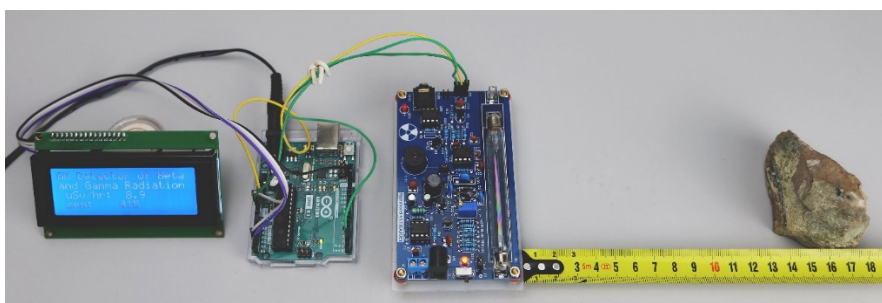
**Въведение:** Както знаете, основните видове йонизиращо лъчение включват алфа, бета и гама лъчение. Уранът, който се среща в природата главно под формата на уранов диоксид форма, е източник и на трите вида радиация, а неговият изотоп  $^{235}\text{U}$  се използва и в ядрените реактори и за военни цели, тъй като може да се разделя на по-леки продукти. Йонизиращото лъчение се използва и в медицината, например при различни методи за изобразяване, като рентгеново лъчение, компютърна томография, позитронно-емисионна томография и др. Въпреки това ще ви покажем как лесно да се предпазите от него. Като източник на радиация ще използваме малко парче уранова руда – уранинит, а като детектор – GM детектор Arduino, който може да улавя бета и гама радиация.



Цел на измерването: Целта на експеримента е да се измери зависимостта на броя на импулсите в минута (срм) и входящата еквивалентна доза от разстоянието между GM тръбата и излъчвателя, като се използва прост GM детектор Arduino.

#### 4.3.1.A. Процедура по измерване

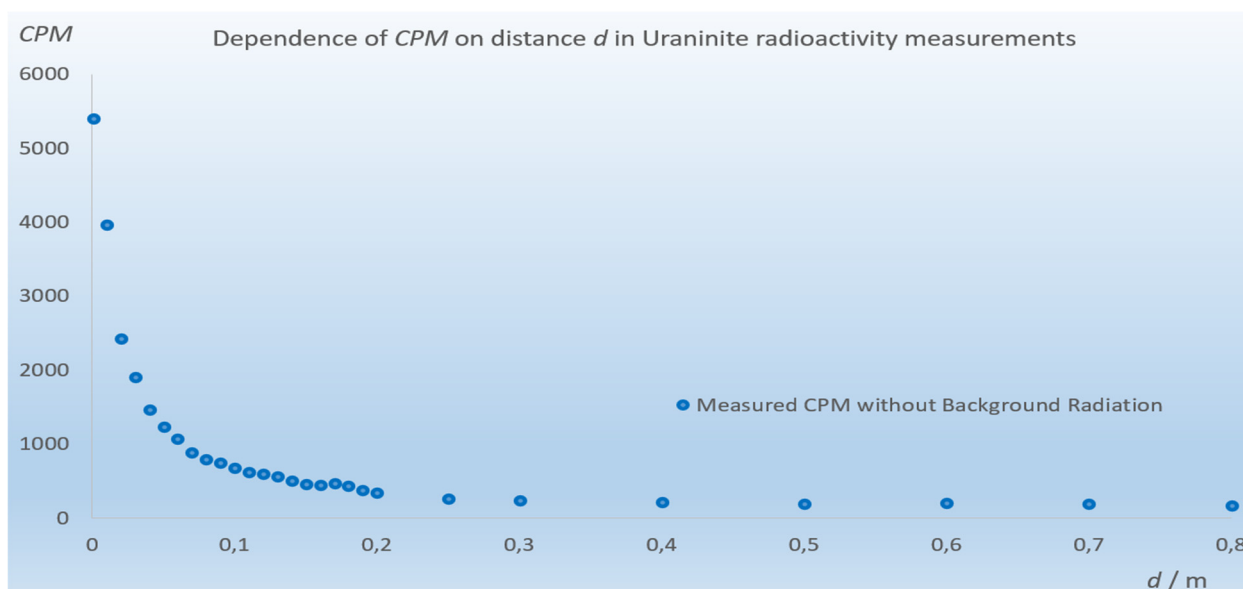
- Експерименталната инсталация се състои от GM детектор Arduino, измервателна лента или линейка и уранова руда, както е показано на изображението по-долу.
- Преди да започнете същинското измерване, първо определете фоновата стойност – оставете GM детектора да измерва без излъчвателя и изчислете фоновото излъчване от десетте измерени стойности на броя на импулсите в минута.
- Поставете урановия минерал възможно най-близо до тръбата на GM детектора и запишете стойността на броя на импулсите (срм) 10 пъти. Можете да ги запишете директно в Excel или да ги запишете в текстов файл чрез програмата CoolTerm. Запишете и стойностите на входния еквивалент на дозата.



- Експерименталната инсталация се състои от детектор GM Arduino, измервателна лента или линейка и уранова руда, както е показано на изображението по-долу.
- Преди да започнете същинското измерване, първо определете фоновата стойност – оставете детектора GM да измерва без излъчвателя и изчислете фоновата емисия от десетте измерени стойности на броя на импулсите в минута.
- Поставете урановия минерал възможно най-близо до тръбата на GM детектора и запишете стойността на броя на импулсите (срм) 10 пъти. Можете да ги запишете директно в Excel или да ги запишете в текстов файл, като използвате програмата CoolTerm. Запишете също така стойностите на входящата еквивалентна доза.

#### 4.3.1.B. Анализ на данни

На следващата фигура е показана зависимостта на броя на импулсите от разстоянието за урановата руда, използвана при нашето измерване. Както можете да видите, броят на импулсите в минута намалява с разстоянието. Това обаче е сложна зависимост, която се влияе от няколко фактора (геометрия на радиатора, геометрия на GM тръбата, различно поведение на бета и гама лъчението при преминаване през въздуха и т.н.), затова не я изразяваме с линия на тенденцията или уравнение.



Опитайте се да отговорите на следните въпроси въз основа на (собствени) измерени данни.

Дата: \_\_\_\_\_

- Броят на импулсите в минута има тенденция да се *увеличава/намалява* с разстоянието (зачеркнете, ако не е приложимо).
- Максималната измерена стойност е \_\_\_\_\_срм на разстояние \_\_\_\_\_см.
- Минималната измерена стойност е \_\_\_\_\_срм на разстояние от \_\_\_\_\_см.
- Обичайната ефективна доза радиация е 13 mSv годишно. Радиационната доза в близост до използвания излъчвател е \_\_\_\_\_ $\mu$ Sv/h.
- Радиационната доза на разстояние 20 см от използвания излъчвател е \_\_\_\_\_ $\mu$ Sv/h.
- Радиационната доза на 1 m от използвания излъчвател е \_\_\_\_\_ $\mu$ Sv/h.

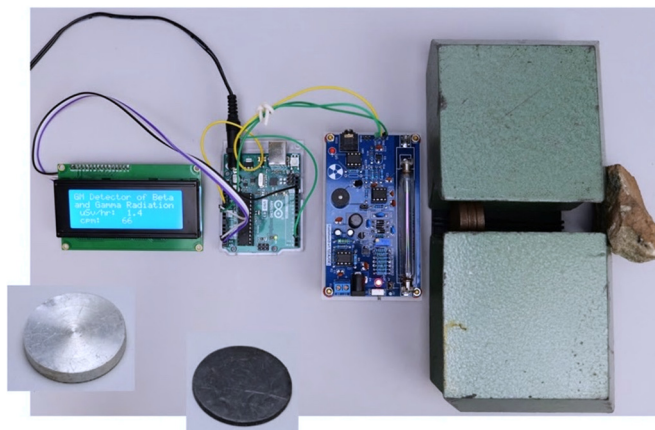
### 4.3.2. Как да се предпазим от радиация (екранираща защита)

**Въведение:** Понякога е необходимо да се предпазим от радиация. Една от възможностите е защитата чрез екраниране. Както е известно, уранът излъчва и трите вида радиация, като гама-лъчението е с най-широк обхват и проникване. Най-добрите материали за защита от гама-лъчение са материалите с високо протонно число и висока плътност (олово, бетон, стомана, волфрам и др.). Нека да опитаме как работи радиационната защита. Кое ще се окаже по-добра защита – олово или алуминий – в случай на уранов минерал?



**Цел на измерванията:** Този експеримент използва прост детектор Arduino GM за измерване на зависимостта на броя на импулсите в минута (срт) от дебелината на металния материал – алуминиеви и оловни дискове.

#### 4.3.2.A. Процедура по измерване

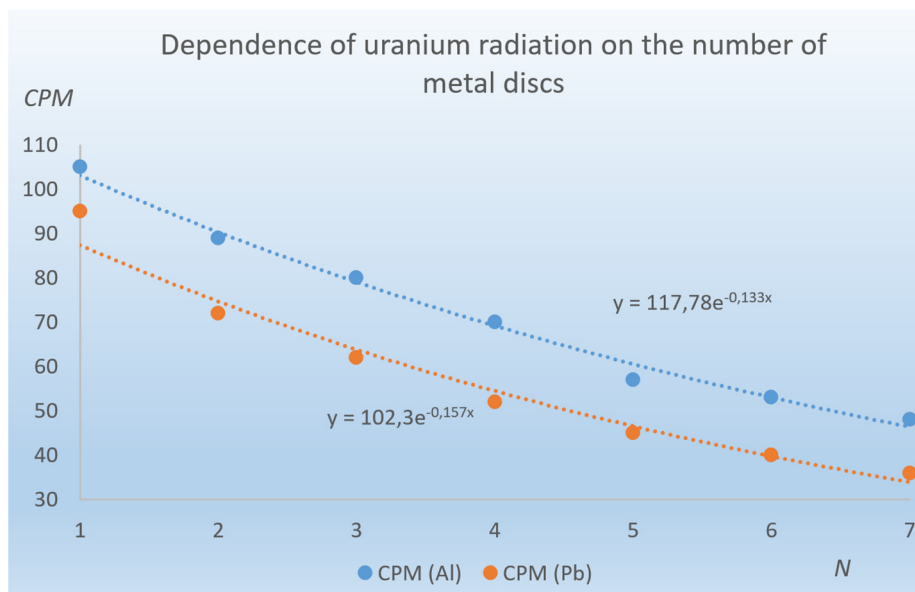


- Подредете експерименталната инсталация, както е показано на снимката. Два оловни блока се поставят между GM-детектора на Arduino и урановия минерал. По този начин се създава тесен тунел, в чието сечение могат да се поставят метални дискове. Това ще гарантира, че никаква друга радиация от урановия минерал няма да проникне в детектора. На снимката се виждат и алуминиеви и оловни дискове с диаметър 3,5 cm. Дебелината на използвания алуминиев диск е 0,5 cm, а на оловния диск – 1 mm.
- Постепенно вкарайте метални дискове в тунела между оловните тухли. За всеки брой дискове  $N$  се определят десет стойности на импулсите в минута (срт). След това изчислете средната стойност на срт за всеки брой дискове. Отбележете всички стойности, напр. в Excel.
- Постройте графики на зависимостта на броя на импулсите срт от броя на дисковете.

#### 4.3.2.B. Анализ на данни

На фигурата по-долу е показана графиката на зависимостта на броя на импулсите от броя на металните дискове. Ако начертаем линията на тенденцията през двете зависимости, ще установим, че най-добрата фигура е експоненциалната, което също е в

съответствие с теорията. (Ако желаем, бихме могли да изчислим от измерените данни и други физични параметри за двата материала, например коефициента им на линейно затихване, което обаче надхвърля сложността на предназначението на тези материали).



Въз основа на измерените данни се опитайте да отговорите на следните въпроси.

Дата: \_\_\_\_\_

- И в двата случая броят на импулсите в минута има тенденция да се увеличава/ намалява с увеличаване на дебелината на материала (броя на дисковете) (ненужното се зачерква).
- В случая с алуминия максималната стойност на \_\_\_\_\_срт е измерена при брой дискове  $N =$  \_\_\_\_\_.
- В случай на олово максималната стойност на \_\_\_\_\_срт е измерена при брой дискове  $N =$  \_\_\_\_\_.
- При алуминия минималната стойност на \_\_\_\_\_срт е измерена с броя на дисковете  $N =$  \_\_\_\_\_.
- При оловото минималната стойност на \_\_\_\_\_срт е измерена с броя на дисковете  $N =$  \_\_\_\_\_.
- Общата дебелина на използваните алуминиеви дискове е \_\_\_\_\_см.
- Общата дебелина на използваните оловни дискове е \_\_\_\_\_см.
- Ако вземем предвид дебелината на алуминиевите и оловните дискове, алуминият/оловото е много по-добър материал за защита от йонизиращо лъчение, идващо от уранови минерали (зачеркнете, ако е приложимо)

## Literaturní zdroje

- SHMÚ – Rádioaktivita. 2023. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.shmu.sk/sk/?page=20>>.
- Nikodemová, D., Cabáneková, H. (2009). Radičná ochrana. SZU Bratislava. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.nuclear.sk/wp-content/uploads/2021/06/Nikodemova-radiacna-ochrana.pdf>>.
- Zákon č. 87/2018 Z. z. (2018). [online] [cit. 2023-07-12] <[https://www.slov-lex.sk/static/pdf/2018/87/ZZ\\_2018\\_87\\_20230415.pdf](https://www.slov-lex.sk/static/pdf/2018/87/ZZ_2018_87_20230415.pdf)>.
- Zákon č. 119/2023 Z. z. (2023). [online] [cit. 2023-07-12] <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2023/119/20230415>>.
- Úrad jadrového dozoru SR. 2022. Základné údaje o rádioaktivite. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.ujd.gov.sk/jadrov-program/zakladne-udaje-o-radioaktivite/>>.
- Abbas, A. (2022). Geiger Muller Counter-Construction and Working of Geiger Muller Counter. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://eduinput.com/geiger-muller-counter/>>.
- Holá, O. (2009). Ionizujúce žiarenie a jeho vlastnosti. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.nuclear.sk/wp-content/uploads/2021/06/Hola-ionizujuce-ziarenie.pdf>>.
- WHO. (2022). Ionizing radiation, health effects and protective measures. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>>.
- Ryan, J., L. (2012). Ionizing Radiation: The Good, the Bad, and the Ugly. In: J Invest Dermatol. 2012 Mar; 132(3 0 2): 985–993. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3779131/>>.
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (2023). [online] [cit. 2023-07-11] <[https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys\\_agents/ionizing.pdf](https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/ionizing.pdf)>.
- United States Nuclear Regulatory Commission. (2020). [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/measuring-radiation.html>>.
- IoT-devices. (2023). Geiger-Muller tubes: Comparison of SBM20, J305 and LND712. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://iot-devices.com.ua/en/comparison-of-geiger-muller-tubes-sbm20-j305-and-lnd712/>>.
- Banggood.com. (2023). Geekcreit Assembled Geiger Counter Module. [online] [cit. 2023-07-11] <[https://www.banggood.com/Geekcreit-Assembled-Geiger-Counter-Module-Miller-Tube-GM-Tube-Nuclear-Radiation-Geekcreit-for-Arduino-products-that-work-with-official-Arduino-boards-p-1136883.html?imageAb=2&rmmms=search&cur\\_warehouse=CN&akmClientCountry=SK](https://www.banggood.com/Geekcreit-Assembled-Geiger-Counter-Module-Miller-Tube-GM-Tube-Nuclear-Radiation-Geekcreit-for-Arduino-products-that-work-with-official-Arduino-boards-p-1136883.html?imageAb=2&rmmms=search&cur_warehouse=CN&akmClientCountry=SK)>.
- Laquai, B. (2014). Geigerzähler-Shield für den Arduino von Libelium. [online] [cit. 2023-07-11] <<http://www.opengeiger.de/LibeliumDoku.pdf>>.
- Státní úřad pro jadernou bezpečnost. (2004). Problematika uranem barveného skla. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/problematika-uranem-barveneho-skla>>.
- United States Environmental Protection Agency. (2023). Radioactive Decay. [online] [cit. 2023-07-12] <<https://www.epa.gov/radiation/radioactive-decay>>.
- Matolín, M. (1970). Rádioaktivita hornin českého masívu. Praha : Academia, 1970, p. 99.
- Tenzler, D. (2016). Rádioaktivita, která se stala uměním – uranové sklo. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://danatenzler.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=545595>>.

## ГЛАВА 5. МЕТЕОРОЛОГИЧНА СТАНЦИЯ НА БАЗАТА НА ARDUINO

*Тази глава е написана от Мартин Хрушка  
от Университета „Матей Бел“ в Банска Бистрица, Словакия.*

### 5.1. Теория

Да предположим, че трябва да записваме първични метеорологични данни (въздушно налягане, температура, влажност и др.). Можем да построим проста метеорологична станция (фиг. 1) с течнокристален дисплей (LCD), като използваме микроконтролер Arduino Uno.



**Фигура 1.** Проста метеорологична станция с микроконтролер Arduino Uno

С помощта на дисплея можем лесно да показваме метеорологичните данни и да ги записваме едновременно в текстов файл, като използваме серийната връзка на метеорологичната станция към компютъра с USB кабел.

Проектирахме метеорологична станция, която може да бъде лесно конструирана с помощта на няколко достъпни модула (Arduino, дисплей и три сензора). Въпреки това тя показва висока надеждност при дългосрочни измервания и беше лесна за експлоатация и инсталиране.

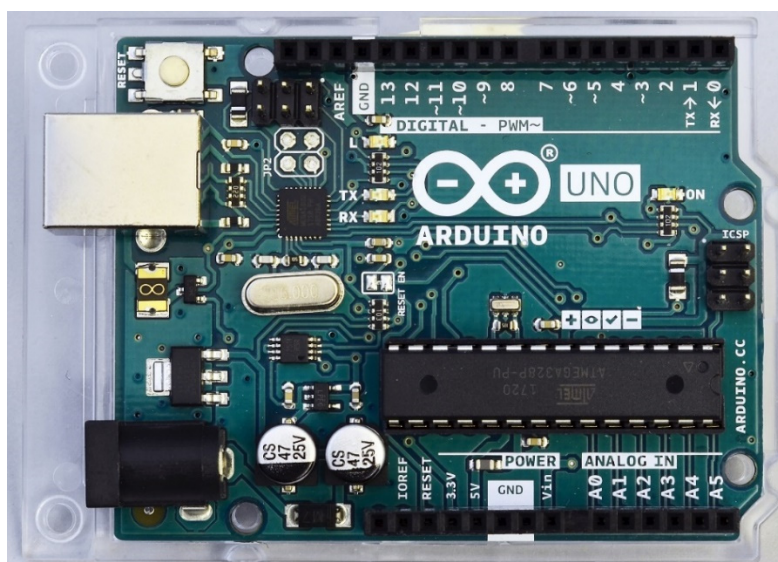
Въз основа на нашия опит най-ефективна се оказва комбинацията от прост LCD дисплей и три сензора. Сензорът BH170 измерва осветеността (интензивността на осветлението) в лукси. Сензорът BMP180 позволява измерване на барометричното налягане, а сензорът HTU21D записва относителната влажност на въздуха и температурата.

#### 5.1.1. Кратко описание на всеки компонент на метеорологичната станция

- **Arduino Uno**

За конструирането на проста метеорологична станция избрахме платката Arduino UNO (фиг. 2). Този микроконтролер е подходящ за първия опит в създаването на проекти. За него са създадени повечето проекти, описани най-често в публично достъпни форуми. Микроконтролерът Arduino UNO работи с микропроцесор ATmega328P. Той е 8-

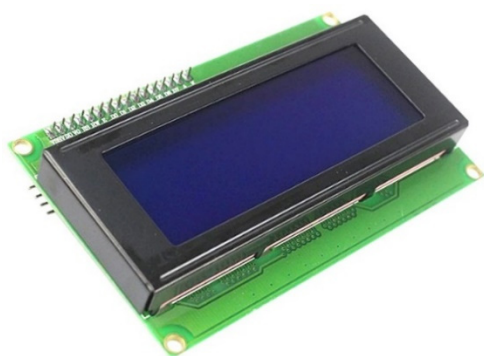
битов едноядрен процесор с честота 16 MHz, с 32 KB програмна памет и 1024 байта EEPROM. Платката има 14 цифрови входни/изходни извода, шест аналогови извода, USB конектор, конектор за захранване и бутон за рестартиране. Микроконтролерът може да се захранва чрез USB, адаптер за постоянен ток или външна батерия с напрежение от 6 V до 15 V. (Voda et al., 2018).



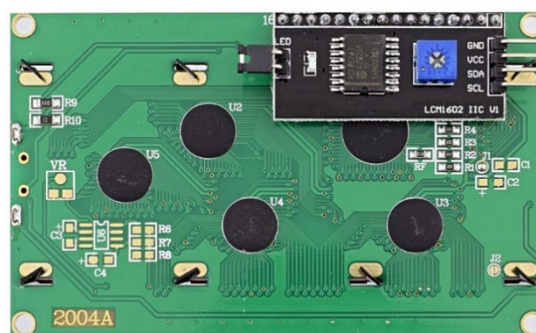
Фигура 2. Микроконтролер Arduino Uno

- **Дисплей 20 x 4 на течен кристал**

Това е стандартен течнокристален дисплей със синя подсветка, с брой символи в един ред 20 и с четири реда (фиг. 3а, б). Дисплеят включва и шина I2C, която позволява свързването му с Arduino с помощта на четири проводника: SCL, SDA, GND и 3,3V или 5V DC. Потенциометърът на интерфейския модул I2C на гърба на дисплея може да се използва за регулиране на контраста му в зависимост от захранването. В същото време е възможно да се превключва подсветката на дисплея. В нашия случай свързахме контактите, така че дисплеят да свети непрекъснато.



a)



b)

Фигура 3а, б. LCD дисплей 20 x 4 със синя подсветка и шина I2C

За да функционира правилно дисплеят, в средата Arduino IDE на компютъра трябва да бъде инсталирана библиотеката LiquidCrystal\_I2C.h, която е свободно достъпна в интернет. Най-лесният начин за инсталиране на библиотеката е да я изтеглите на компютъра си под формата на ZIP архив. Впоследствие в средата Arduino IDE в раздела Sketch

(Скица) изберете опцията *Include Library/Add ZIP.Library...* (Включване на библиотека/ Добавяне на библиотека *ZIP.Library...*), изберете местоположението на изтегления ZIP файл с библиотеката и потвърдете.

Arduino IDE ще ни информира за успешното инсталиране на библиотеката с текстово известие.

- **Сензор за интензивност на светлината BH1750**



**Фигура 4.** BH1750 сензор, предназначен за измерване на интензивността на осветлението в луксове (lx)

Сензорът за интензивност на светлината (фиг. 4) комуникира чрез интерфейса I2C, като преобразува измерената интензивност на светлината в цифров изход под формата на числова стойност.

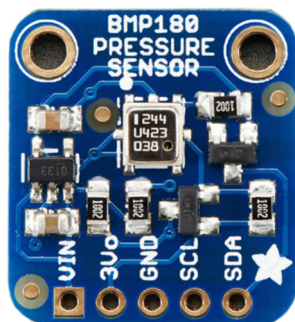
Резултатът от измерването се изразява в лукси в интервала от 0 lx до 65535 lx. Така че сензорът съдържа 16-битов AD преобразувател, който осигурява до 216 стойности на интензитета на осветлението. Температурният диапазон на работа на сензора е от -40 °C до +85 °C; консумацията на ток достига незначителните 0.12 mA. Сензорът е адаптиран към спектралните свойства на човешкото око. Както се вижда на фиг. 7 по-долу, за захранването на този и другите два измервателни модула използвахме напрежение от 3.3V, осигурявано директно от микроконтролера Arduino. Сензорът не е подходящ за приложения, при които трябва да измерваме бързи температурни промени, тъй като минималното време между измерените стойности достига, според производителя, от 120 ms до 180 ms.

Сензорът може да се използва в три режима в зависимост от това колко бързо и точно искаме да измерим интензитета на светлината. С два по-бавни режима на измерване можем да постигнем разделителна способност от 1 lx (режим H-Resolution) или до 0.5 lx (режим H-Resolution2), докато измерването отнема от 120 ms до 180 ms. Ако зададем бързия режим на измерване с ниска разделителна способност от 4 lx (режим L-Resolution), измерването ще отнеме от 16 ms до 24 ms. Режимът с висока разделителна способност е по-подходящ при измерване например на по-ниски стойности на осветлението. Получаваме и по-ниски стойности на шума. Размерите на сензора са 18.6 mm x 14.5 mm. Сензорът има два отвора за монтаж и използва библиотеката BH1750.h, достъпна свободно в интернет (Sierpert, 2022, Datasheet BH1750, 2011).

- **BMP180 сензор за барометрично налягане**

Сензорът за измерване на барометричното налягане BMP180 (фиг. 5) на Bosch може да измерва и температурата (ние обаче няма да използваме тази функция в нашата схема поради недостатъчната точност на измерване). Типичната точност на измерване на налягането е  $\pm 1$  hPa, докато сензорът измерва налягането в диапазона от 300 hPa до 1100 hPa. Този сензор също така комуникира чрез интерфейса I2C, така че четири проводника са достатъчни за свързване към Arduino. Размерите на сензора са 21 mm x 18 mm. Сензорът има два монтажни отвора за закрепване (Datasheet BMP180, 2013).

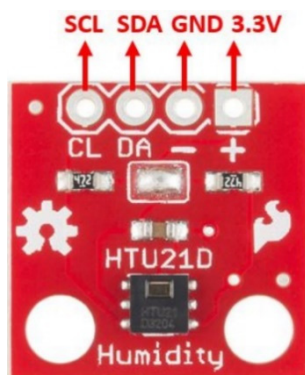




**Фигура 5.** BMP180 сензор, предназначен за измерване на барометричното налягане

Сензорът BMP180 използва библиотеката `Adafruit_BMP180.h`, която е свободно достъпна в интернет. Тази библиотека е съвместима както със сензори BMP085, така и с BMP180.

- **Сензор за относителна влажност и температура HTU21D**



**Фигура 6.** HTU21D сензор, предназначен за измерване на относителна влажност и температура на въздуха

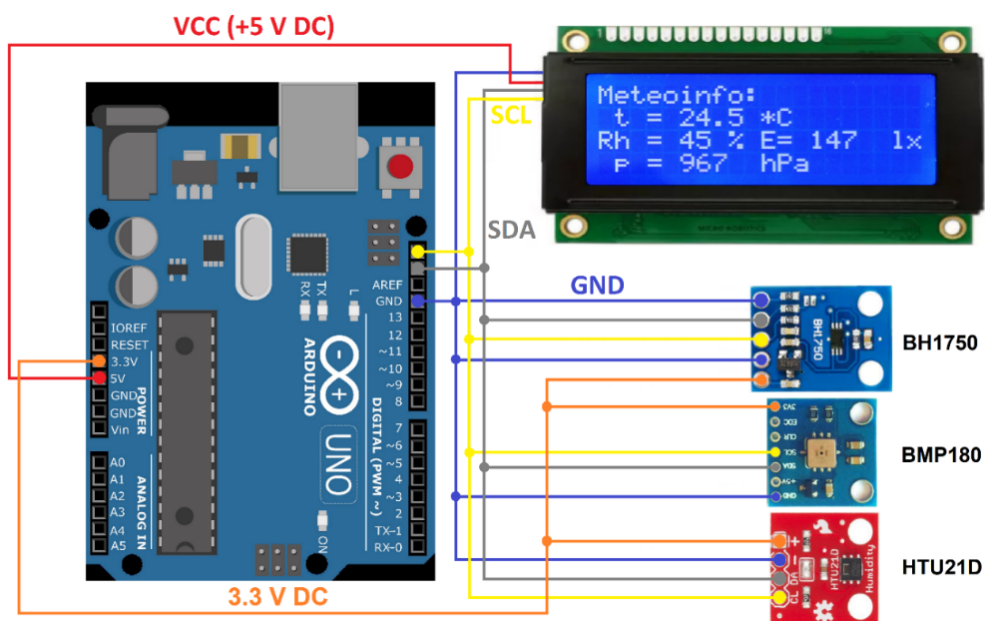
Сензорът HTU21D (фиг. 6) позволява измерване на температурата в диапазона от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  и на относителната влажност на въздуха от 0% до 100%. Що се отнася до точността на измерването, в случая на температурата точността обикновено е  $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , като най-точното измерване се постига в интервала от  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В случая на влажността точността е  $\pm 1\%$ , а най-точният сензор измерва в интервала от 10% до 90%. Захранващото напрежение за този модул, препоръчано от производителя, е в диапазона от 3.3V до 5V. Изразходваният електрически ток е нисък, като достига максимум 140 nA в покой и максимум 0,5 mA по време на измерване. Към всички споменати предимства можем да добавим и размера на модула, който е 12 x 10 mm, и монтажния отвор за закрепване на сензора (Datasheet HTU21D, 2013).

Сензорът за влажност и температура HTU21D използва библиотеката `SparkFunHTU21D.h`, която е свободно достъпна в интернет.

### **5.1.2. Описание на свързването и изграждането на метеорологичната станция**

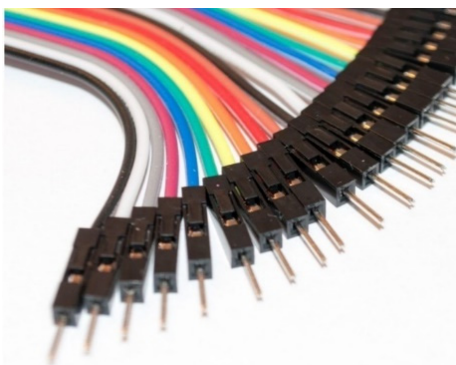
LCD дисплеят и трите споменати сензора използват серийния интерфейс I2C за комуникация с микроконтролера Arduino Uno. Този интерфейс дава възможност за свързване на устройство (сензор или дисплей) към Arduino, като се използват само два проводника. Проводникът, обозначен като SCL (Serial Clock), служи за синхронизиране на

комуникацията. Другият проводник (SDA – Serial Data) служи за предаване на данни. Освен това към устройствата трябва да се свържат и проводниците GND и 3,3V или 5V за захранване. Едното устройство, което управлява комуникацията, трябва да е от типа Master (в нашия случай това е Arduino). Другите устройства са от типа Slave. Всяко устройство се идентифицира чрез своя уникален адрес при комуникация с помощта на I<sup>2</sup>C (Voda, Z. et al., 2018). Схемата на свързване на микроконтролера Arduino Uno с LCD дисплея и сензорите в метеорологичната станция е показана на фиг. 7.



**Фигура 7.** Свързване на обикновена метеорологична станция

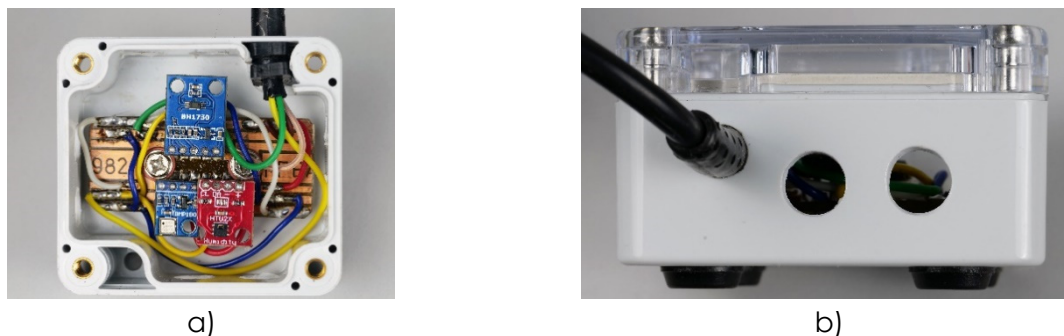
Ще направим връзките, като използваме проводници с крайници DuPont тип М (мъжки), които са най-подходящи за свързване към Arduino, както е показано на фиг. 8.



**Фигура 8.** Проводници с клеми за свързване към Arduino

Благодарение на използването на шината I<sup>2</sup>C и същото захранване с постоянно напрежение 3.3V, сензорите могат да бъдат инсталирани на подходяща печатна платка, свързана съгласно схемата на фиг. 7, и поставени в подходяща малка монтажна кутия с прозрачен капак (фиг. 9а, б), която може да бъде поставена на открито, например зад прозорец. Тя ще ни позволи да свържем кутията на сензора и по-голямата кутия на метеорологичната станция с дисплея и Arduino, като използваме четирипроводен кабел с проводници SCL, SDA, GND и 3.3V DC.

Самата метеорологична станция (фиг. 10а) също беше монтирана в монтажна кутия с прозрачен капак. Правоъгълният отвор в корпуса, в който се намира дисплеят, беше изрязан с помощта на промишлено оборудване за рязане с водна струя, но е възможно да се използва и мощен лазер.

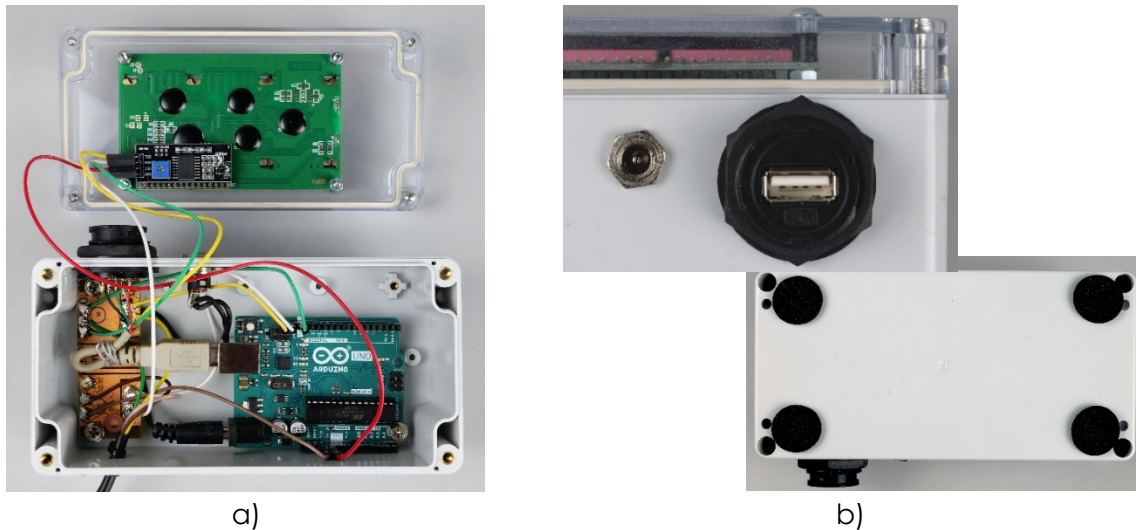


**Фигура 9а, б.** Монтиране на сензорите върху печатната платка и фиксиране на печатната платка със сензорите в кутията за сглобяване с прозрачен горен капак (а), изглед на пробитите отвори от страната на кутията (б)

Ако не разполагаме с някой от тези инструменти, е възможно да пробием отвор в ъгъла на бъдещия отвор, да изрежем отвора постепенно (например с трион) и да го почистим с пила. Но това е по-трудоемко и има повече възможности за грешки.

Когато поставяме кутията със сензори, трябва да спазваме няколко условия:

- Уверете се, че е поставен на сянка, а не на пряка слънчева светлина. Това ще гарантира, че сензорът HTU21D ще измерва действителната температура на външния въздух и кутията на сензора няма да прегрее.
- Необходимо е да пробиете подходящи отвори в страничните стени на кутията със сензори (в нашия случай направихме общо 8 отвора с диаметър 8 mm в стените на кутията, т.е. по два отвора от всяка страна). По този начин постигаме, че налягането на въздуха в кутията ще бъде същото като в заобикалящата я среда, а въздухът в кутията се променя добре. Благодарение на това сензорът HTU21D може да измерва и относителната влажност на околния въздух. Разбира се, в горния прозрачен капак на кутията на сензора не могат да се пробиват отвори. В противен случай в кутията може да попадне дъжд или сняг.
- Самият Arduino и дисплеят трябва да се поставят в по-голяма кутия за монтаж и да се оставят в стаята, свързани към източник на захранване или (в случай на непрекъснато събиране на данни) към USB порта на компютър или лаптоп.
- Удобно е конекторът за захранване и USB конекторът да се поставят на задната страна на монтажната кутия (фиг. 10б). Това ни позволява да използваме подходящ адаптер за постоянен ток за захранване на Arduino, както и да програмираме метеорологичната станция чрез USB от компютъра, без да е необходимо да отваряме монтажната кутия.
- И двете монтажни кутии (със сензорите, както и с дисплея и Arduino) трябва да бъдат оборудвани със самозалепващи се подложки против хлъзгане (фиг. 10б).



**Фигура 10 а, б.** Изглед към вътрешността на метеорологичната станция (а), захранващ и USB конектор на станцията, изглед към противоположните подложки на дъното(б)

## 5.2. Лабораторна конфигурация

### 5.2.1. Програмиране на метеорологичната станция и описание на програмата

В първата част на програмата (фиг. 11) е необходимо да се заредят библиотеките, които съдържат код за управление и комуникация със свързания хардуер. Необходимо е също така да посочим кои устройства са свързани към Arduino за правилната работа на инициализираните библиотеки.

*Забележка:* Символът за двойна наклонена черта „//“ в програмата означава, че програмата ще игнорира следващия текст. Затова тук можем да напишем обяснителни коментари за отделни части на програмата.

```

Meteoinfo_LCD_Serial_fin.ino
1 // Simple weather station, Martin Hruska 2023
2 // Launch the necessary libraries
3 #include <Wire.h> // Library for I2C communication
4 #include "SparkFunHTU21D.h"
5 #include <Adafruit_BMP085.h>
6 #include <BH1750.h>
7 #include <LiquidCrystal_I2C.h> // Library for LCD display
8
9 // Create an instance of the object
10 HTU21D myHumidity; // Relative Humidity (%), Temperature (*C)
11 Adafruit_BMP085 bmp; // Air Pressure (hPa)
12 BH1750 lightMeter; // Light Intensity (lx)
13 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); // Define display properties
14
  
```

**Фигура 11.** Уводна част на програмата на метеорологичната станция

Можем да инициализираме свързания хардуер в секцията void setup() (фиг. 12). Първо, инициализираме серийната и I2C комуникация, дисплея и свързаните сензори. Написваме поздрав и инструкция за записване на данни в Excel чрез серийна комуникация. Накрая изписваме израза „Meteoinfo:“ на дисплея:

```

15 void setup()
16 {
17   Serial.begin(9600); // Initialization of serial communication
18   Wire.begin(); // Initialization of I2C communication
19   lcd.init(); // Initialization of LCD display
20   lcd.backlight(); // Switching on the LCD backlight
21   myHumidity.begin(); //Initialization of sensors
22   !bmp.begin();
23   if (lightMeter.begin(BH1750::CONTINUOUS_LOW_RES_MODE)) {
24     Serial.println(F("Simple weather station, KF FPV UMB BB 2023. Copy this data to Excel:")); // Prints the initial text
25   } else {
26     Serial.println(F("Error initialising BH1750"));
27   }
28   lcd.setCursor (0,0); // Setting the display cursor to the initial position
29   lcd.print("Meteoinfo:"); // The text that will not be changed during the measurement will be displayed

```

**Фигура 12.** Инициализация на хардуера

Впоследствие на дисплея и на компютъра по време на серийната комуникация се записват символи и маркировки, които няма да се променят (фиг. 13).

```

31   lcd.setCursor (1,1);
32   lcd.print("t = ");
33   lcd.setCursor (9,1);
34   lcd.print(" *C");
35
36   lcd.setCursor (0,2);
37   lcd.print("Rh = ");
38   lcd.setCursor (7,2);
39   lcd.print(" %");
40
41   lcd.setCursor (10,2);
42   lcd.print("E= ");
43   lcd.setCursor (17,2);
44   lcd.print(" lx");
45
46   lcd.setCursor (1,3);
47   lcd.print("p = ");
48   lcd.setCursor (9,3);
49   lcd.print(" hPa");
50
51   Serial.print("t/*C ");
52   Serial.print(" Rh/% ");
53   Serial.print(" p/hPa ");
54   Serial.print(" E/lx ");
55   Serial.println();
56 }

```

**Фигура 13.** Отпечатване на фиксиран текст на дисплея и в компютъра по време на серийно предаване

Следващата част от програмата – *void loop()* – съдържа част от кода, която се повтаря постоянно (фиг. 14). В нея ще въведем необходимите променливи и ще поискаме стойности от сензорите, които след това ще изведем на LCD дисплея. Все още трябва да преобразуваме стойността на налягането в хектопаскали:

```

58 void loop()
59 {
60     // Creating the necessary variables
61     float temp = myHumidity.readTemperature();
62     float humd = myHumidity.readHumidity();
63     float lux = lightMeter.readLightLevel();
64
65     // Temperature value display
66     lcd.setCursor (4,1);
67     lcd.print("    ");
68     lcd.setCursor (5,1);
69     lcd.print(temp, 1);
70
71     // Relative humidity value display
72     lcd.setCursor (4,2);
73     lcd.print("    ");
74     lcd.setCursor (5,2);
75     lcd.print(humd, 0);
76
77     // Illuminance value display
78     lcd.setCursor (12,2);
79     lcd.print("    ");
80     lcd.setCursor (13,2);
81     lcd.print(lux, 0);
82
83     // Air pressure value display
84     lcd.setCursor (4,3);
85     lcd.print("    ");
86     lcd.setCursor (5,3);
87     lcd.print(bmp.readPressure()/100); // Convert pressure value to hPa
88

```

**Фигура 14.** Въвеждане на променливи и изписване на измерените стойности на дисплея

В последната част на програмата (фиг. 15) записваме измерените стойности на компютъра и спираме програмата за известно време, като използваме командата `delay()`, така че стойностите да се записват по 1 в минута по време на продължителното измерване.

Това означава, че стойностите на налягането (hPa), температурата (°C), относителната влажност (%) и интензивността на светлината (lx) се опресняват на дисплея и се записват на компютъра приблизително на всяка минута:

```

89     // Output of values via serial interface
90     Serial.print(temp, 1);
91     Serial.print("    ");
92     Serial.print(humd, 1);
93     Serial.print("    ");
94     Serial.print(bmp.readPressure()/100); // Convert pressure value to hPa
95     Serial.print("    ");
96     Serial.print(lux);
97     Serial.println();
98
99     delay(59800); // Delay - values are recorded every minute

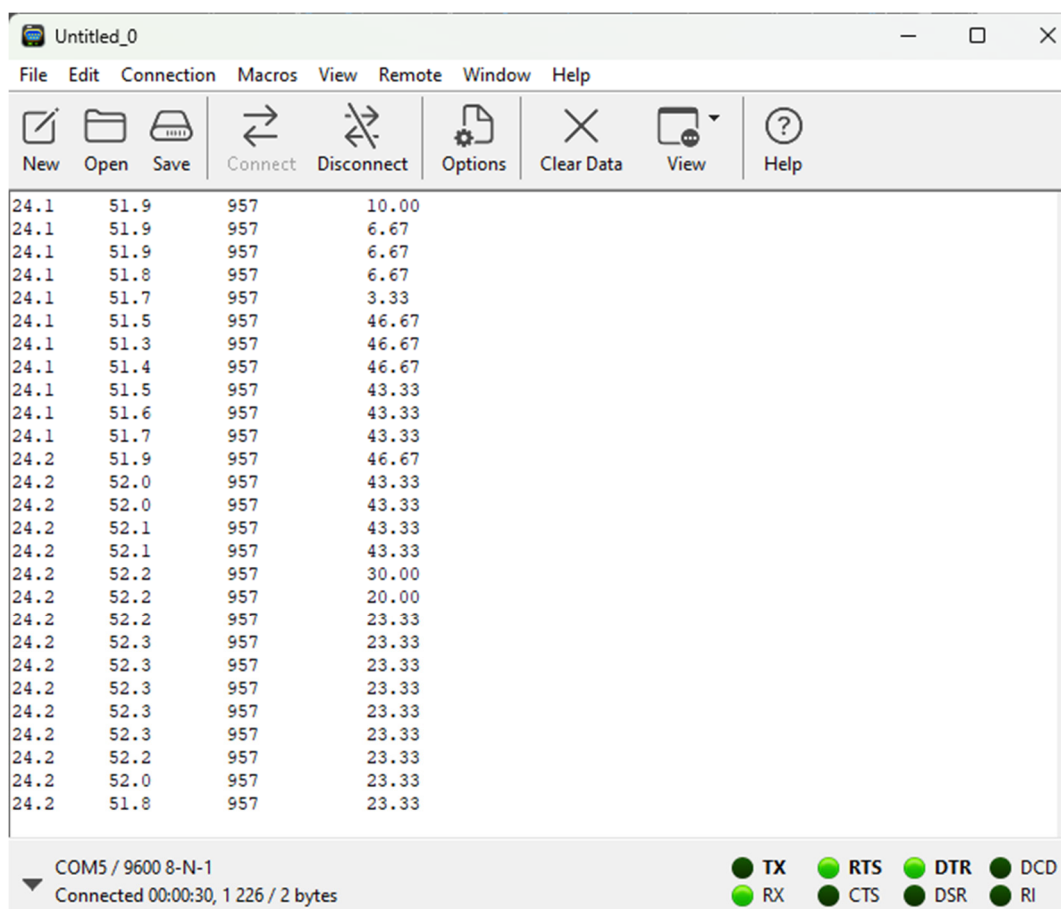
```

**Фигура 15.** Записване на измерените стойности в компютъра и прекъсване на програмата за необходимото време


Ако трябва да записваме стойности, например на всяка секунда, трябва само да зададете правилно стойността на командата `delay()` в последния ред на програмата. Например, `delay(1000)` означава, че програмата ще направи пауза за 1000 ms. Но не трябва да забравяме, че самата програма отнема известно време, затова е необходимо да определим стойността на закъснението експериментално.

### 5.2.2. Събиране на данни чрез компютър

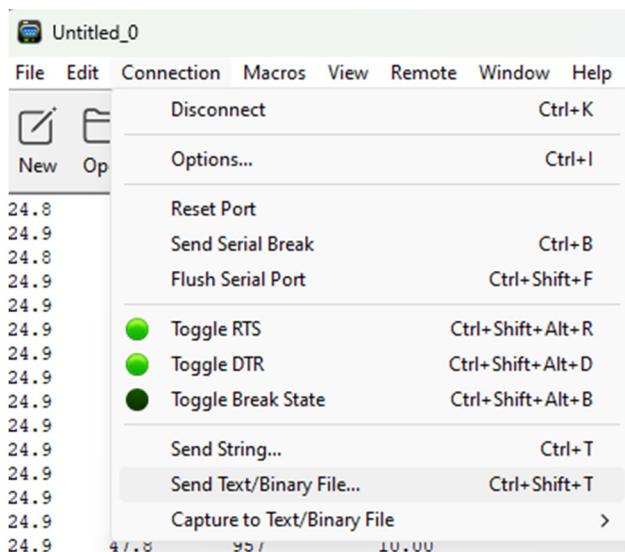
За действителното събиране на данни с помощта на компютър можем с предимство да използваме някоя от свободно достъпните програми, които могат да записват данни, изпратени чрез серийно предаване от Arduino през USB конектора, в текстов файл. Най-новата версия на програмата CoolTerm, достъпна в интернет (CoolTerm, 2022 г.), се оказва най-подходяща за нас.



**Фигура 16.** Образец на програмната среда на CoolTerm и преглед на записаните стойности

Не е необходимо да инсталирате програмата; просто я стартирайте, след като я изтеглите. След като стартирате програмата, изберете опцията за автоматично задаване на параметрите на комуникацията. Впоследствие инициализирайте серийното предаване с помощта на бутона  в горната лента на програмата (фиг. 16).

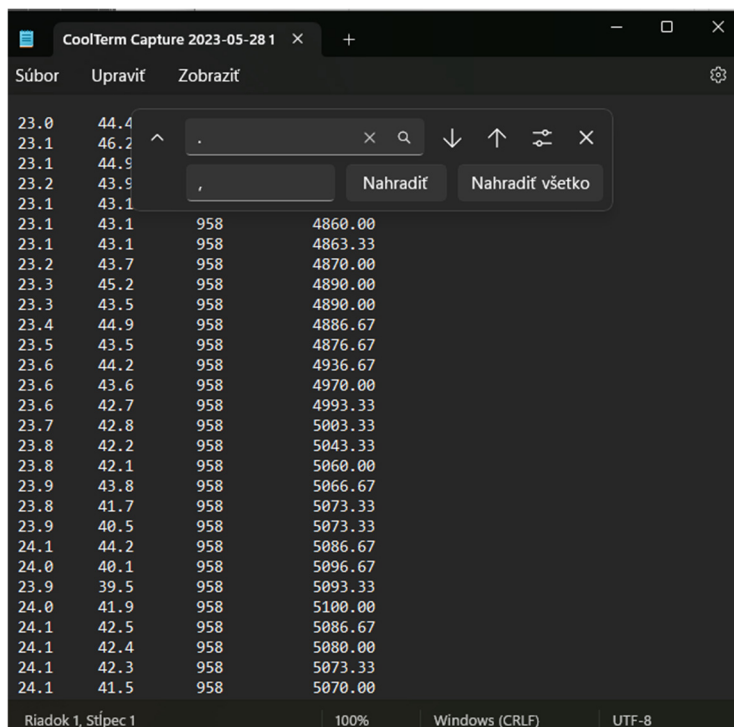
Ако искаме да запишем данните в текстов файл, трябва да изберем командата *Connection/Send Text/Binary File...* (Връзка/Изпращане на текстов/бинарен файл...) в горната лента на програмата и да потвърдим записването в текстов файл с определено име в зададената папка (фиг. 17).



Фигура 17. Настройки за записване на данни в текстов файл

Когато прехвърляте данни в Excel, понякога е необходимо да вземете предвид символа, който разделя целите и десетичните числа. В някои страни той може да бъде десетична точка, а в други – точка. За да се избегнат ненужни проблеми при прехвърляне на данни в Excel, най-лесно е да замените символа за разделяне на цели и десетични числа директно в текстовия файл, като използвате командата *Ctrl+H* (фиг. 18).

След като сме заменили всички разделителни символи, можем да използваме командата *Ctrl+C*, за да маркираме всички данни в текстовия файл и да използваме командата *Ctrl+V*, за да ги вмъкнем в Excel, да редактираме клетките с данни във формат *Number* (число) със зададения брой знаци след десетичната запетая (обикновено един знак е достатъчен) и да построим желаните графики.



Фигура 18. Пример за замяна на символа за десетичен разделител в словашката локализация на текстовия редактор с измерени данни



## 5.3. Задачи

### 5.3.1. Използване на измерванията. Метеорологично наблюдение

В следващия раздел представяме предложение за дейност, наречена „Метеорологично наблюдение“.

Дейността се обработва под формата на работен лист за ученици.

**Въведение:** Правилните прогнози за времето или за състоянието на атмосферата над дадено място на земната повърхност в бъдеще са от съществено значение не само за широката общественост, но особено за такива области на човешката дейност като въздушния и морския транспорт, селското стопанство, различни отрасли на промишлеността и др. Ако искаме да прогнозираме времето, първо трябва да измерим метеорологичните елементи, т.е.



количествените характеристики на атмосферата. Те включват например температурата и влажността на въздуха, продължителността на слънчевото греене, посоката и скоростта на вятъра, количеството на валежите и др.

Как се променя температурата през деня и нощта? Как разбираме кога е ден и кога е нощ? Елате и опитайте как могат да се записват някои променливи, характеризиращи времето.

**Цел на измерванията:** Целта на експеримента е да се използва проста метеорологична станция за измерване на избрани метеорологични характеристики в продължение на няколко дни. Обработете получените данни, например в средата на MS Excel, и определете как се е променило времето през измервания период.

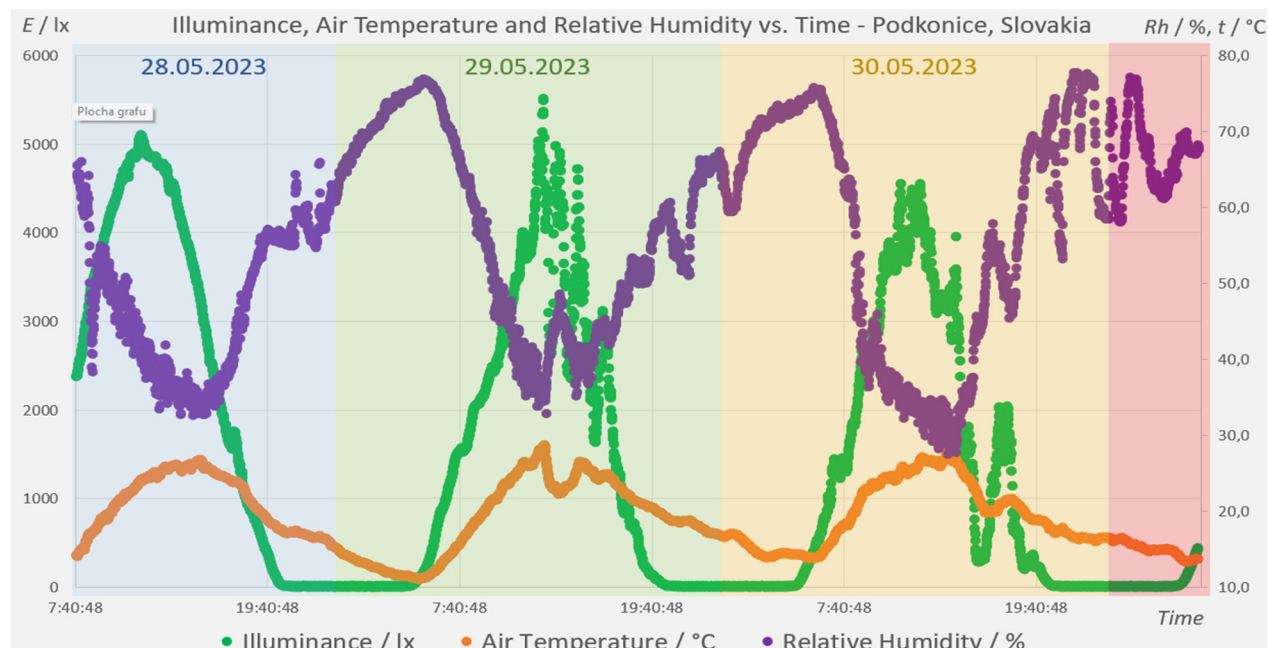
#### 5.3.1.A. Процедура по измерване

- Експерименталната инсталация се състои от метеорологична станция със сензори и компютър за дългосрочно записване на измерените данни.
- Поставете кутията със сензорите на метеорологичната станция, например на перваза на прозореца, така че да не е под пряка слънчева светлина.
- Свържете метеорологичната станция към компютъра с помощта на USB кабел и стартирайте софтуера за записване на данни CoolTerm.
- Настройте програмата да започне да записва данни в текстов файл. Не забравяйте да запишете началото на измерването – метеорологичната станция измерва данни на всяка минута, така че по началото на измерването можете лесно да определите кога са записани четирите стойности (температура на въздуха, относителна влажност на въздуха, атмосферно налягане и интензивност на светлината).
- Оставете измерването да продължи няколко дни или поне 24 часа (не забравяйте да настроите компютъра така, че да не се изключва или да не преминава в режим на пестене на енергия).

#### 5.3.1.B. Анализ на данни

След 24 часа или няколко дни спрете измерването и копирайте записаните данни от текстовия файл в Excel. Постройте графика от измерените стойности или няколко графика в зависимост от това дали искате да покажете зависимостта на измерените променливи от времето под формата на отделни графики или не.

Пример за това как може да изглежда такава графика е показан по-долу. Графиката показва стойностите на осветеността, относителната влажност на въздуха и температурата на въздуха, измерени в продължение на няколко дни. Отделните дни са подчертани с цвят, за да се направи графиката по-лесна за четене. Можем да определим приблизително стойностите директно от графиката, но можем да получим по-пълна информация от таблицата с измерените данни.



Опитайте се да отговорите на следните въпроси въз основа на (собствени) измерени данни.

Дата: \_\_\_\_\_

- Максималната измерена температура на въздуха е била \_\_\_\_\_°C по това време: \_\_\_\_\_.
- Минималната измерена температура на въздуха е била \_\_\_\_\_°C по това време \_\_\_\_\_.
- Дневната температурна амплитуда по време на наблюдението е била със стойност \_\_\_\_\_°C.
- Максималната относителна влажност на въздуха е достигнала \_\_\_\_\_% по това време: \_\_\_\_\_.
- Минималната относителна влажност на въздуха е била \_\_\_\_\_% по това време \_\_\_\_\_.
- Нощта ( $E = 0 \text{ lx}$ ) започва в \_\_\_\_\_.
- Зората ( $E > 0 \text{ lx}$ ) е настъпила в \_\_\_\_\_.
- Нощта е продължила \_\_\_\_\_.
- Въздушното налягане е имало тенденция на покачване/понижаване; било е стабилно (ненужното се зачертава).

## Литературни източници

- CoolTerm 2.0.1.1150 (2022). [online] [cit. 2023-06-26] <<https://coolterm.en.lo4d.com/windows>>.
- Datasheet BH1750 (2011). [online] [cit. 2023-06-26] <<https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750vi-e-186247.pdf>>.
- Datasheet BMP180 (2013). [online] [cit. 2023-06-26] <<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>>.
- Datasheet HTU21D (2013). [online] [cit. 2023-06-26] <[https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1899\\_HTU21D.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1899_HTU21D.pdf)>.
- Siepert, B. (2022). Adafruit BH1750 Ambient Light Sensor. Available at: <<https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-bh1750-ambient-light-sensor.pdf>>.
- Voda, Z. et al. (2018). Průvodce světem Arduina. [online] [cit. 2023-06-26] <[https://arduino.adamit.eu/books/Zbysek\\_Voda\\_2\\_vydanie\\_2018\\_Pr%C5%AFvodce-sv%C4%9Btem-Arduina-CZ.pdf](https://arduino.adamit.eu/books/Zbysek_Voda_2_vydanie_2018_Pr%C5%AFvodce-sv%C4%9Btem-Arduina-CZ.pdf)>.

## ГЛАВА 6. КОМПЛЕКТ С ОПИСАНИЕ НА РМ СЕНЗОР И КАК СЕ ПРАВИ РМ СЕНЗОР

Тази глава е написана от Раду Мотисан от Magnasci SRL (6.1, 6.1.1.), Румъния

### 6.1 Теория

Сензорът PM Smoggie е евтин автоматичен монитор за качеството на въздуха с устойчив на дъжд корпус и проста система за монтаж, която улеснява инсталирането. Той има висококачествен сензор за лазерно разсейване на частици PM1, PM2,5 и PM10 и допълнителен сензор за температура и влажност. Свързва се с интернет чрез Wi-Fi и може да се захранва със стандартен 5V микро USB кабел.

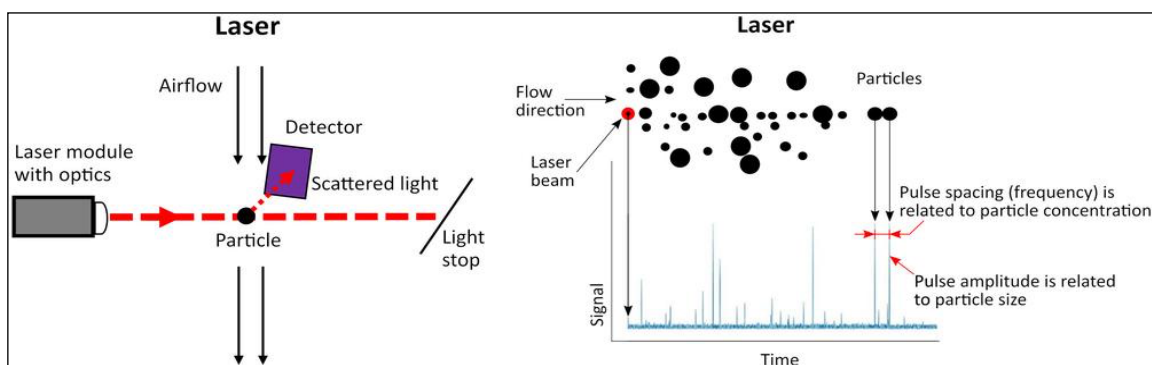
Измерванията се предават автоматично към сървъра за данни uRADMonitor, откъдето могат да бъдат достъпни чрез съществуващия API или достъпни и децентрализирани директно чрез локалната мрежа. Този монитор е лабораторно тестван за точност на данните.

Този сензор е много евтино устройство, при което всички компоненти на конструкцията му са оптимизирани от гледна точка на разходите, с изключение на един: качеството на получения продукт. Конструкцията е с отворен код, като пълните данни за хардуера и софтуера са публично достъпни в Github. Софтуерът му може да бъде модифициран с помощта на Arduino. По подразбиране всички измервания се изпращат към сървърите на uRADMonitor и са достъпни чрез API или се разглеждат онлайн ([www.uradmonitor.com](http://www.uradmonitor.com)).

#### 6.1.1. Съдържание на комплекта и роля на всеки компонент

Сензорът PM Smoggie съдържа високопрецизен сензор за лазерно разсейване и MEMS сензор за температура и влажност. Вграденият вентилатор осигурява активен въздушен поток върху детекторните елементи. Устройството се свързва с вашия безжичен интернет рутер чрез Wi-Fi, за да изпраща показанията онлайн. [1]

Сензорът Smoggie измерва три метеорологични параметъра: температура на въздуха (разделителна способност 0,5 °C и точност  $\pm 1$  °C), барометрично налягане (точност  $\pm 0,25\%$ ) и относителна влажност (разделителна способност 1% и точност  $\pm 2\%$ ), като използва микроелектромеханични системи (Sensirion SHT21). Използва се и интегриран детектор за лазерно разсейване (Plantower PMS5003) за измерване на концентрациите на PM1, PM2.5 и PM10 във въздуха.



Фигура 1. Функционална схема на оптичния сензор за прахови частици [2]

Импулс от кохерентна инфрачервена светлина проблясва през кухня с разположен отстрани фотодиод PIN, за да се открият концентрациите на PM. Вентилаторът вкарва въздуха в камерата. Когато частица достигне лазерния лъч, тя разсейва лазерната светлина, а фотодиодът открива разсеяната светлина. Амплитудата на регистрирания разсеян сигнал е пропорционална на размера на частиците. Това помага да се съпостави броят на събитията с масовата концентрация.[2]

**Таблица 1.** Параметри на сензорите

Сензори	Параметър	Минимум	Максимална стойност	Грешка
Sensirion SHT21	Температура	-40 °C	+125 °C	± 0.3 °C
	Влажност	0% RH	100% RH	± 2%
Plantower PMS5003	PM1.0 PM2.5 PM10	0 µg / m³	1000 µg / m³	± 5%

Във версията на комплекта сензорът PM Smoggie се предлага в разглобен вид. Целта е да се използва като учебен материал от ученици в лабораторни упражнения. Такова лабораторно занимание представя на учениците съвременни цифрови технологии за работа с автоматичен сензор. В същото време сглобяването на сензора SMOGGIE KIT запознава учениците със специфични инструменти и техники за сглобяване, като станции за запояване, калайдисване, 3D принтиране, програмиране и тестване.

Всички сензори са свързани помежду си в мрежа (uRADMonitor), насочена към непрекъснато наблюдение на околната среда. Тя генерира напълно прозрачни отворени данни, използвани за наблюдение на качеството на въздуха. Данните са достъпни в реално време чрез API интерфейс директно от облака. Данните за околната среда, записани от сензорите, обхващат обширна област и се предоставят в реално време с едноминутна резолюция.

### Основни компоненти на комплекта

Всеки комплект се предлага в картонена кутия, която съдържа следното:

1. дънна платка със залепена електроника и двойнозалепваща лента
2. сензор за частици тип Plan tower PMS5003
3. съединител за проводник на сензора за частици
4. адаптер 220V 5V за захранване на устройството
5. кабел micro-USB за програмиране и захранване
6. документация на хартиен носител
7. пластмасов капак



**Фигура 2.** Основни компоненти на комплекта PM Smoggie

## Необходимо време

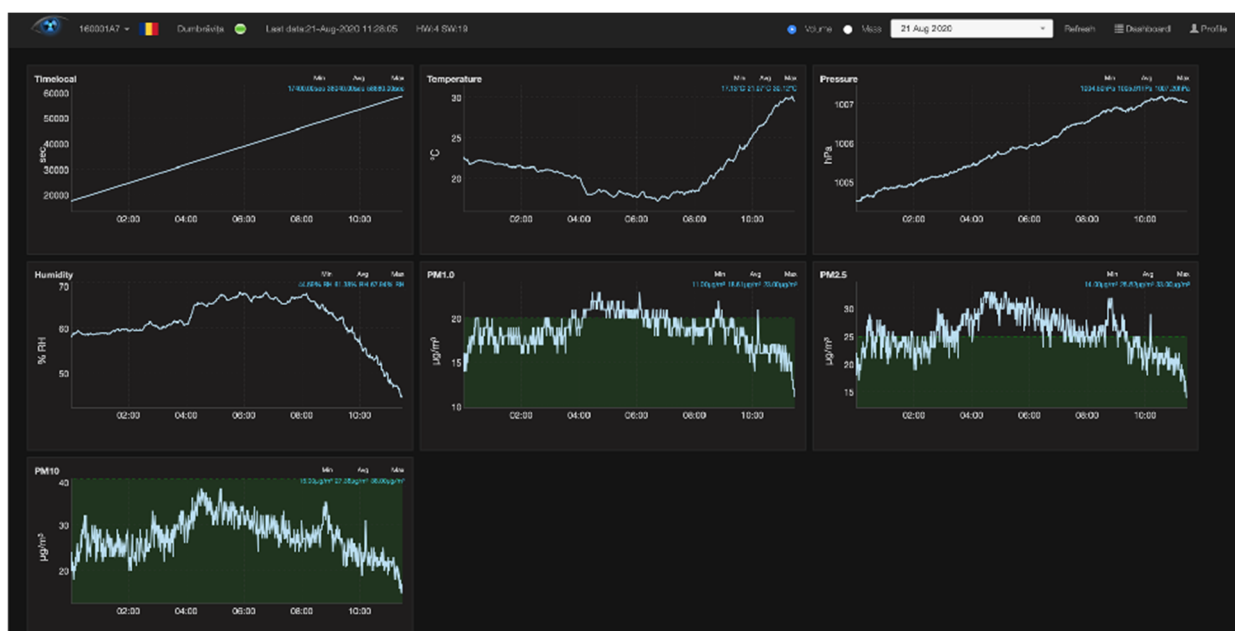
Средното време за сглобяване е около 30 минути, като включва калайдисване на проводниците, фиксиране на сензора към основната плоча и поставянето му в пластмасовия корпус. Отпечатването на корпуса отнема около 1 час и 30 минути, но варира в зависимост от използваната FDM или SLA технология. Програмирането на устройството отнема няколко минути, като се използва Arduino за Windows, Linux или Mac OS.

## Качване на данни

Данните се събират автоматично, като времевата извадка е една минута. Интервалът може да се конфигурира във фърмуера или чрез команди на USB терминала, за да се отговори на целта на внедряването (например мобилните устройства се нуждаят от по-бързо вземане на проби, докато отдалечените устройства, работещи с по-ниска мощност или ограничена честотна лента (или и двете), се нуждаят от намалена честота на вземане на проби). Сензорите се свързват с интернет чрез няколко средства за свързване: в зависимост от типа на устройството те включват кабелни връзки чрез Ethernet или радиовръзки, включително GSM, WIFI, LORAWAN, HELIUM или Bluetooth Low Energy. Достъпът до тези записи може да се осъществи дистанционно чрез API на uRADMonitor или децентрализирано в локалните мрежи на потребителите.

## Достъп до данни

Устройството SMOGGIE трябва само да се свърже към захранването и WIFI мрежата и данните ще бъдат достъпни веднага:



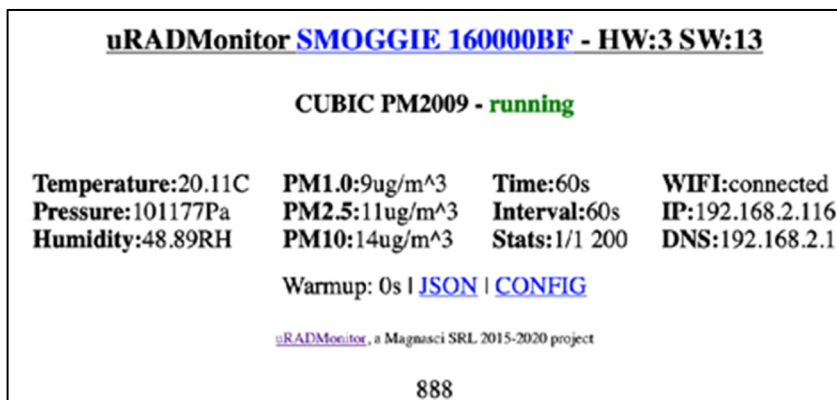
Фигура 3. Измерване на данни в реално време

До наборите от данни може да се получи директен достъп за показване в софтуерни приложения на трети страни, за интегриране с други системи (Home Assistant, Alexa и др.) или за показване на информационни табла.

Достъпът до данните може да бъде осъществен по два начина:

- **Локален достъп**

Това се отнася за случаите, когато устройството е част от LAN. Устройството представя вътрешна уебстраница, достъпна през порт 80, която може да се отвори в стандартен интернет браузър. Отворете IP адреса на устройството в локалната мрежа, за да получите достъп до съдържанието от компютър или телефон. Сервираната уеб страница е следната:



**Фигура 4.** Уеб сайт

Вътрешната страница на устройство SMOGGIE, показваща измервания и друга техническа информация.

Връзката JSON води до източник на данни, форматиран в JSON, който може да бъде периодично заявяван за достъп до показанията на устройствата. Тъй като това се извършва директно чрез свързване към устройството, не може да се използва обработката на отместването, реализирана на сървъра, така че ще получите необработени показания. Поради тази причина този начин на достъп не е предпочитан и трябва да се приложи допълнителна компенсация (напр. температурна компенсация за коригиране на вътрешното нагряване, други корекции и т.н.). Вместо това тази функционалност е предвидена за отстраняване на грешки и децентрализирана работа в критични ситуации, като например повреда или отказ на сървъра. За повече информация относно директния достъп до данни посетете <https://www.uradmonitor.com/direct-data-access/>

- **Достъп до данни чрез интерфейса REST API на сървъра**

Това е предпочитаният метод за достъп до данни. API не изисква от клиента да знае нищо за неговата структура. Вместо това сървърът трябва да предостави информация на клиента, за да взаимодейства с услугата. Пример за това е HTML формуляр: Сървърът посочва местоположението на ресурса и задължителните полета. Браузърът не знае предварително къде да изпрати информацията и не знае предварително каква информация трябва да се изпрати. Сървърът предоставя изцяло и двете форми на информация.

API се извиква и за двете посоки на трансфер на данни, предаване на данни = качване и изтегляне = изтегляне. Когато говорим за достъп до данни, имаме предвид изтегляне. Сензорите използват API, за да качват измервания на сървъра за по-нататъшна обработка и съхранение в базата данни. След това API се използва за достъп до данните от предната част, мобилното приложение или системите на трети страни, които се нуждаят от набор от данни. За повече информация относно API, моля, разгледайте следните връзки:

<https://www.uradmonitor.com/api>, <https://www.uradmonitor.com/dashboard/>.

## Литературни източници

1. Udristioiu, M. T., Velea, L., & Motisan, R. (2023). First results given by the independent air pollution monitoring network from Craiova City, Romania. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2843, No. 1). AIP Publishing.
2. Velea, L., Udriștioiu, M. T., Puiu, S., Motișan, R., & Amarie, D. (2023). A Community-Based Sensor Network for Monitoring the Air Quality in Urban Romania. *Atmosphere*, 14(5), 840. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/atmos14050840>
3. <https://www.uradmonitor.com/products/>
4. [https://www.uradmonitor.com/wp-content/uploads/2022/08/datasheet\\_smoggie\\_v5-stev\\_compressed.pdf](https://www.uradmonitor.com/wp-content/uploads/2022/08/datasheet_smoggie_v5-stev_compressed.pdf)
5. <https://www.uradmonitor.com/direct-data-access/>
6. <https://www.uradmonitor.com/api>
7. <https://www.uradmonitor.com/dashboard/>



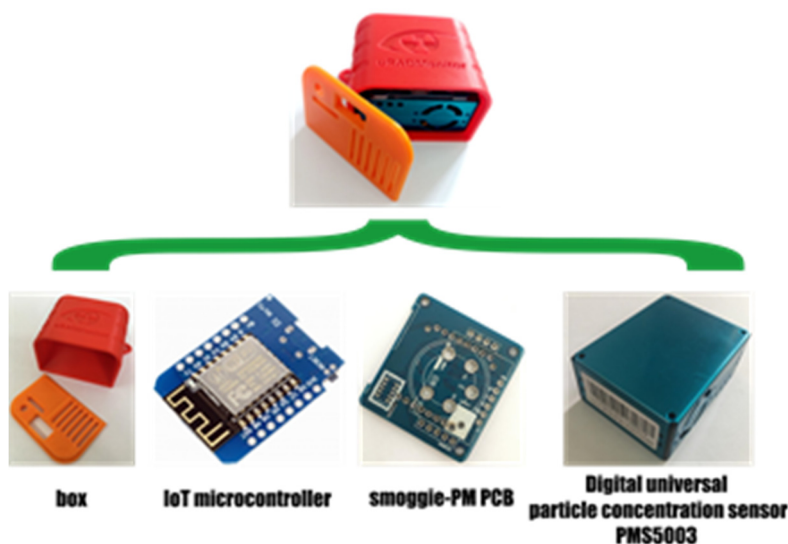
## 6.1.2. Как да направя сензор PM Smoggie с помощта на комплект?

Тези раздели (6.1.2., 6.2, 6.2.A., 6.2.B., 6.3.) са написани от Силвиу Константин Сарару от Университета в Крайова, Румъния.

Сензорът SMOGGIE-PM се състои от четири основни части:

- кутия, изработена чрез 3D принтиране;
- ESP8266 WeMos D1 Mini – микроконтролер;
- печатна платка Smoggie-PM;
- Plantower PMS5003 – сензор, който измерва прахови частици (PM) (1 $\mu$ m (PM1), 2,5 $\mu$ m (PM2,5) si 10 $\mu$ m (PM10)).

PM се използва за смес от твърди частици и течни капки във въздуха. Сензорът за твърди частици PMS5003 е сензор за лазерно разсейване, който дава цифрови резултати за концентрацията на ПЧ въз основа на теорията на Мие.



Фигура 1. Основни части на сензора за PM

### Информация за микроконтролера

Микроконтролерът е устройство с интегрална схема, което управлява други части на електронна система, обикновено чрез микропроцесор, памет и някои периферни устройства. Най-разпространеният начин за обозначаване на тази категория интегрални схеми е микроконтролер със съкращението MCU (= микроконтролерен блок) или понякога  $\mu$ C ( $\mu$  = микро). Микроконтролерът е добре подбрано наименование, защото подчертава определящите характеристики на тази категория продукти.

*микроконтролер = микро + контролер*

Префиксът микро означава маломерност, докато терминът контролер означава повишена способност за изпълнение на контролни функции.

Микроконтролерите са оптимизирани за вградени приложения, изискващи функционалност за обработка и гъвкаво, бързо реагиращо взаимодействие с цифрови, аналогови или електромеханични компоненти. Микроконтролерите изиграха основна/доминираща роля в технологичната революция 4.0, която оформи съвременния живот.

Микроконтролерите са малки, универсални и евтини устройства, които могат да бъдат успешно реализирани и програмирани от опитни електроинженери и любители, студенти и специалисти от други дисциплини.

Това, което си струва да се спомене, е фактът, че микроконтролерът  $\neq$  компютър, защото:

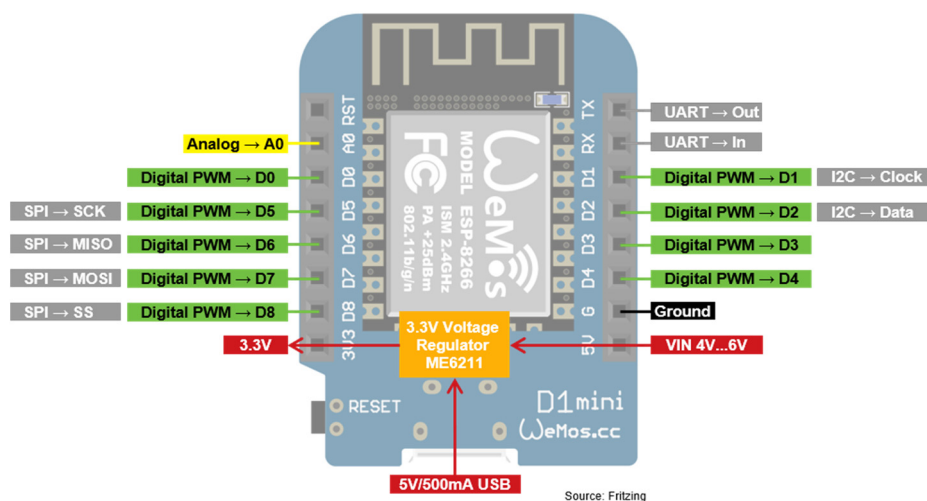
- микроконтролер изпълнява определена задача една по една,
- докато компютърът изпълнява милиони инструкции в даден момент.

### 3а ESP8266 WeMos D1 Mini

WeMos D1 Mini е базиран на микроконтролера ESP8266, проектиран и произвеждан от Espressif Systems в Шанхай, КНР. Въз основа на вградения буутлоудър е лесно да флашнете платката с вашия програмен код. Забележителните характеристики на ESP8266 WeMos D1 Mini, които си струва да бъдат споменати тук, са

- лесна за използване за проекти в областта на интернет на нещата с микро USB връзка и вграден WiFi (IEEE 802.11 b/g/n);
- ниска консумация на енергия в режим на дълбоко заспиване (0,17 mA) и поради това е много подходящ за проекти, захранвани от батерии;
- бърза изчислителна мощност до 160 MHz в сравнение с 16 MHz за ATmega328p (в Arduino).

Можете да намерите повече информация за ESP8266 WeMos D1 Mini на уебсайта на производителя: <https://www.wemos.cc/en/latest/index.html>. Описание на характеристиките на ESP8266 WeMos D1 Mini, заедно със схема, показваща разположението на изводите на интегралната схема и техните функции, можете да намерите на адрес <https://diy10t.com/esp8266-wemos-d1-mini-tutorial/>.



Фигура 2. ESP8266 WeMos D1 Mini

## 6.2. Лабораторна конфигурация

### 6.2.A. Как да захранваме ESP8266 WeMos D1 Mini?

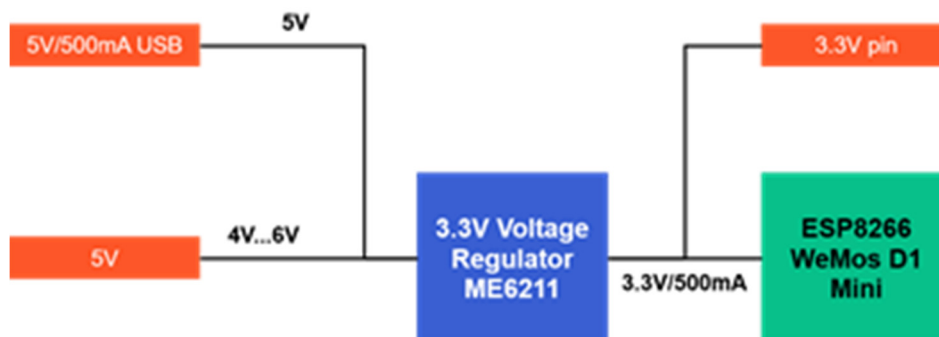
Микро USB. USB кабелът е най-популярният и най-лесният начин за захранване на микроконтролера. Стандартната USB връзка осигурява 5 V и позволява да се черпят 500 mA.

**5V Пина.** Можете да използвате извода VIN, ако той използва външно захранване, например батерия или лабораторно захранване. Напрежението трябва да е между

4,3V и 6V. Следователно можете да захранвате WeMos D1 Mini с LiPo батерия с конектор JST в комбинация с щит за батерия за WeMos D1 Mini

[https://www.wemos.cc/en/latest/d1\\_mini\\_shield/battery.html](https://www.wemos.cc/en/latest/d1_mini_shield/battery.html)

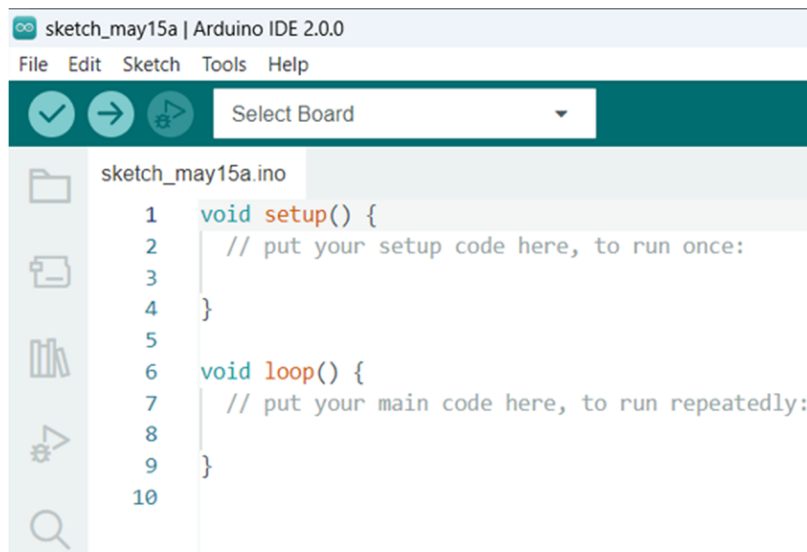
**3V Пина** (не се препоръчва). Платката има вграден регулатор на напрежение (ME6211), който осигурява стабилно напрежение от 3,3V за WeMos D1 Mini и съответните изводи. Регулаторът на напрежение е свързан към извода 5V и USB порта. Тъй като след регулатора на напрежение изводът 3,3V е свързан директно към ESP8266, платката може да се захранва и чрез стабилно напрежение 3,3V на извода 3,3V.



Фигура 3. Регулатор на напрежението

## 6.2.B. Как да „флашнете“ програмния код на ESP8266 WeMos D1 Mini

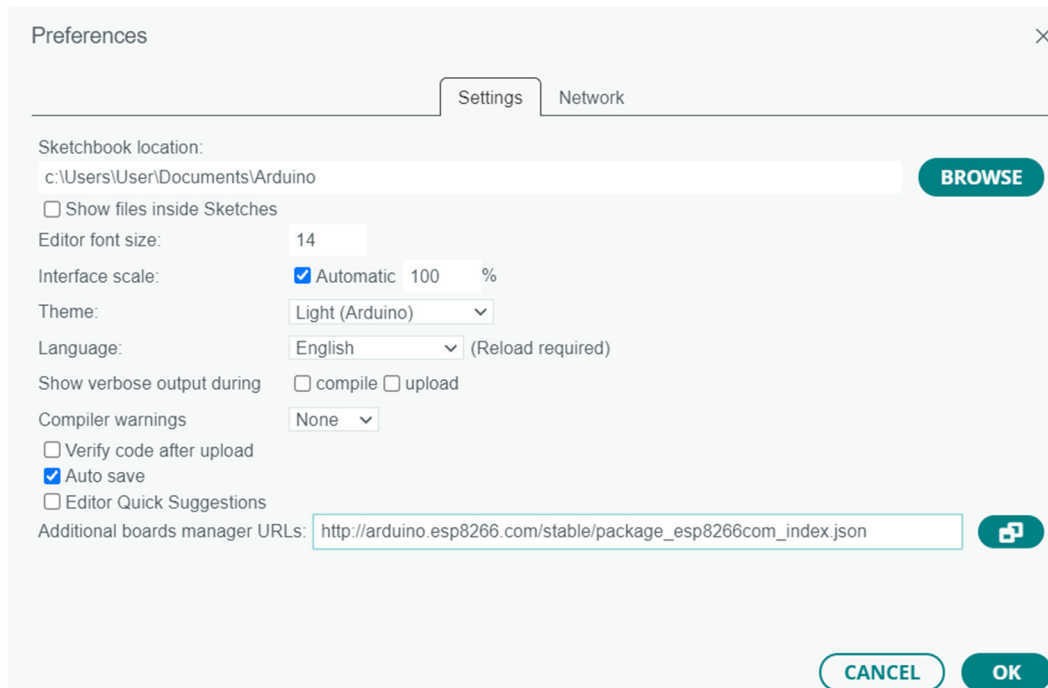
Можете да използвате Arduino IDE, за да запишете на флашка програмния си код на ESP8266 WeMos D1 Mini.



Фигура 4. Принтскрийн Arduino IDE

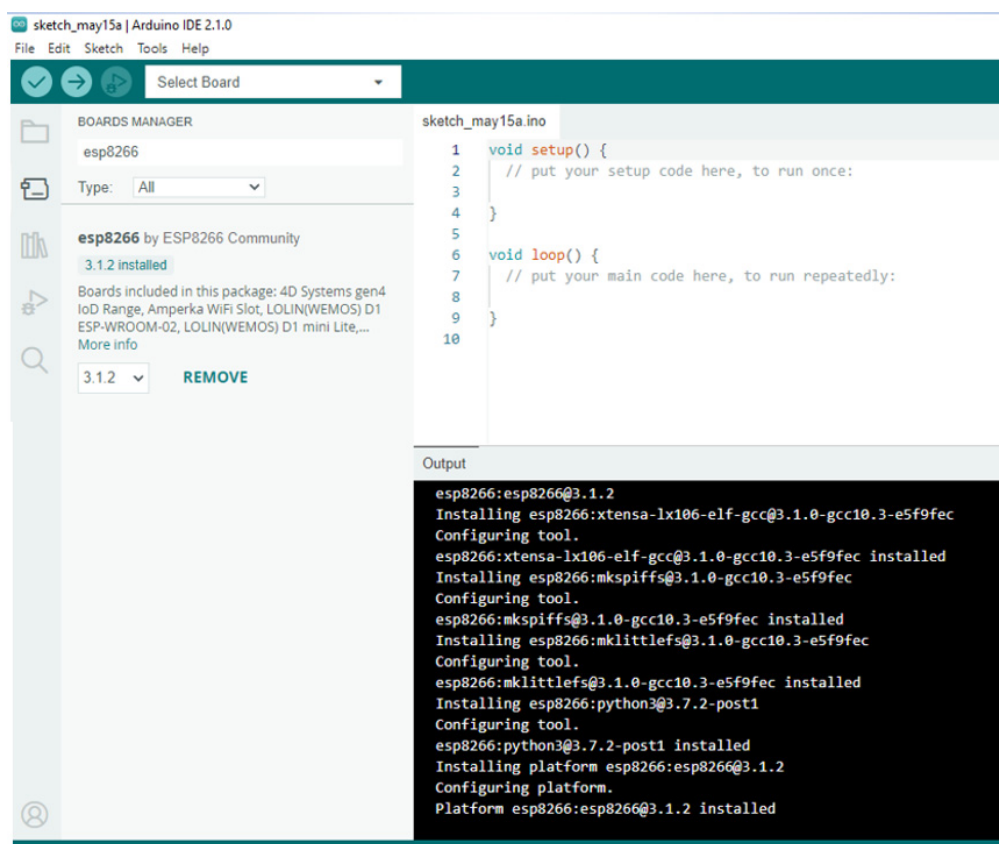
За тази цел се предприемат следните стъпки:

- В менюто на Arduino IDE щракнете върху File → Preferences (Файл → Предпочитания) и въведете следния URL адрес в полето Additional Boards Manager URLs: [http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json)



Фигура 5. Принтскрийн Файл → Предпочитания и въведете URL адреса в полето Допълнителни URL адреси на мениджъра на табла

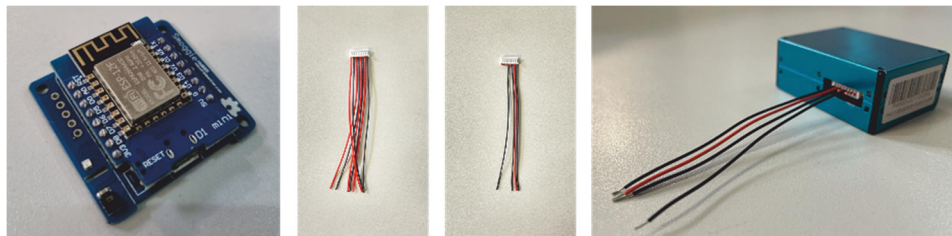
- Инсталирайте необходимите пакети в лявата част на Arduino IDE, щракнете върху Board Manager, потърсете esp8266 от ESP8266 Community и инсталирайте последната версия на платката.



Фигура 6. Принтскрийн на esp8266 by ESP8266 съобщения

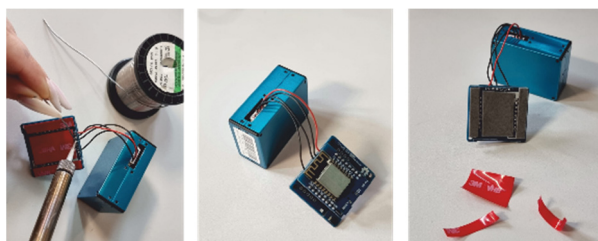
### 6.3. Задачи

Необходими са също така станция за запояване, резачка за проводници, кабел пикоблейд и двойно лепяща лента, за да се създаде сензорът. Обикновено платката WeMos се запоява върху горната страна на печатната платка Smoggie-PM. Жиците на кабела Picoblade се скъсяват до дължина от няколко см. Върховете им се оголват, за да се подготвят за калайдисване.



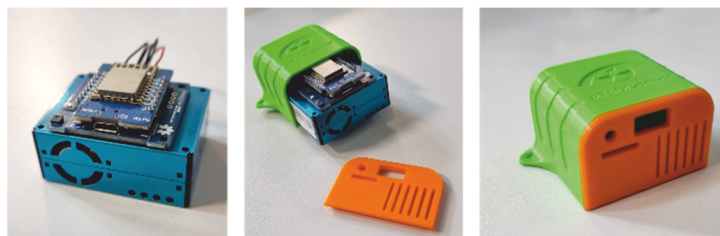
Фигура 7. Платката WeMos върху печатната платка на Smoggie-PM

Оголените краища на съединителните проводници се вкарват в отворите на основната плоча, както е показано на снимката по-долу. След това с помощта на поялника се калайдисват, за да се фиксират. Припоите трябва да са плоски, като височината им не трябва да надвишава дебелината на двустранната лента.



Фигура 8. Запояване на проводници

С помощта на двойнозалепващата лента залепете сглобката, състояща се от платка WeMos и PCB Smoggie-PM, към корпуса на сензора Plantower PMS5003, като процедурата по следния начин: подравнете основата на сглобката, състояща се от платка WeMos и PCB Smoggie-PM, върху повърхността на сензора, като внимавате ръбът със захранващия щепсел да е точно на ръба на сензора, както е показано на снимката по-долу. Задните проводници лежат успоредно, без да се пресичат в зоната на сензора. Поставете сглобката в кутията и закопчайте капака.



Фигура 9. Сензорът отвърне

Електронната част е готова; можете да прехвърлите на платката програмния код и да инсталирате сензора.

## Литературни източници

1. <https://www.uradmonitor.com/products/>
2. <https://www.wemos.cc/en/latest/index.html>
3. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
4. <https://diyiot.com/esp8266-wemos-d1-mini-tutorial/>
5. <https://www.arduino.cc/>
6. G. Mie, Beiträge zur optik trü"ber medien, speziell kolloidaler metall"osungen [Contributions to the optics of turbid media, particularly of colloidal metal solutions]. Ann. Phys., 377, 25(3), 1908
7. <https://ioct.tech/edu/sites/default/files/2019-04/PMS5003-Educational%20Version%202.pdf>

## ГЛАВА 7. 3D ПРИНТИРАНЕ. ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ ЗА ТОВА КАК ДА ПОДГОТВИТЕ МОДЕЛА СИ ЗА 3D ПРИНТИРАНЕ

*Тази глава е написана от Юлиан Петрисор от Университета в Крайова, Румъния.*

### 7.1. Теория

Технологичният напредък ни позволи да отпечатваме 3D модели лесно, бързо и, което е важно, икономично. Исторически погледнато, имаше много технологични пробиви, така че през последните 10-15 години станахме свидетели на масово, глобално разпространение на възможностите за отпечатване на 3D модели. Появиха се нов софтуер, книжарници, специализирани уебсайтове, както и много безплатни, дори научни списания (журнали), свързани с тези нови технологии. Първите книги, посветени на тази област, започнаха да се появяват след 2010 г. (като например [1-3] или някои от по-новите [4-11]).

В 3D принтирането се използват много видове материали – от пластмаси, различни смоли, метали или метални прахове, керамични материали, композитни материали (например в строителството), а напоследък и храни.

Сравнително често срещани видове материали, използвани в стандартните 3D принтери:

➤ **Пластмасови материали:**

- PLA (полимлечна киселина);
- ABS (акрилонитрил-бутадиен-стирен);
- найлон (алифатен полиамид);
- PET (полиетилен терефталат).

➤ **Епоксидни смоли;**

➤ **Метални материали:**

- Метални прахове (смесени с други материали, които по-късно се отстраняват);
- Стомана, никел, бронз, мед и т.н. (които могат да бъдат представени директно).

Подчертаваме също, че в зависимост от материала или технологията в процеса на отпечатване е важно да се вземат предвид някои ефекти върху здравето на хората в помещението, където работи 3D принтерът. Някои принтери имат затворен, термично контролиран корпус, както и възможност за евакуация на някои газове, отделени в резултат на технологичния процес (например при използването на ABS се отделят газове, които трябва да бъдат евакуирани), или ако 3D отпечатаното изделие ще се използва в хранително-вкусовата промишленост, тъй като някои материали не са подходящи за нея. Затова обмисляме принтер, предназначен изрично за хранителната промишленост (отговарящ на допълнителни стандарти), за да се отпечатват например шоколадови изделия, или PET принтери за отпечатване на модели, които могат да съхраняват храна, и т.н. Така че от съществено значение е да се знае и къде или как ще се използва крайният (3D отпечатан) продукт.

В най-разпространените 3D принтери технологията се основава на топене и последващо сливане на пластмасови материали; по принцип с помощта на енергия материалът се разтопява в определена глава (която определя разделителната способност на крайния продукт) и чрез прилагане на екструзия на пластмаса ще се получи, обикновено чрез последователно отлагане, слой по слой, проектираният 3D модел.

## 7.2. Лабораторна конфигурация

Възможен софтуер, използван за 3D принтиране:

- [Blender](#)
- [Tinkercad](#)
- [FreeCAD](#)
- [DesignSpark Mechanical](#)
- [Autodesk Fusion 360](#)
- [SolidWorks](#)
- [Mathematica](#) и т.н.

Всеки 3D принтер по правило съдържа софтуер, с който е възможно, от една страна, да се разработват и проектират 3D модели и, разбира се, от друга страна, да се отпечатват модели, направени с друг софтуер, който е експортиран в подходящ формат, т.е. да бъде „разбран“ от принтера. Обикновено (начинаещите ученици и всички, които искат да се учат) започват с безплатен софтуер, често онлайн. Той предоставя на начинаещите потребители редица примери и малки уроци, за да разберат как да проектират и отпечатат прост 3D модел.

Можете да започнете с *Blender* или *Tinkercad* (на които ще се спрем по-късно). Целта на този материал **не е** да преподава 3D проектиране. Това е интуитивен, систематичен процес и силно зависи от сложността на 3D модела. Във всеки софтуер има уроци и полезни съвети. Структурата на менюто и помощта са от основно значение за постигането на желания модел. Библиотеките с отворен код също са удобни. Основните понятия за често срещаните избори при 3D принтирането (дизайн, модел, вид материал или технология) са систематично описани в глави 2-4 на източник [8].

**Дизайн** – основният етап на 3D принтирането. Той представлява пренасянето на идея или концепция във физически обект. Понякога е непостижимо директно! По подразбиране се позоваваме на 3D принтерите с най-използваните нишки.

На този етап ще разгледаме:

- какви размери ще има крайният продукт; съпоставяме с максималния размер на моделите, които можем да произведем с 3D принтера, с който разполагаме;
- вида/размера на дюзата за печат, т.е. разделителната способност, която ще имаме (също зависи от притежавания принтер);
- Избягвайте някои много остри ръбове или твърде фини (тънки) повърхности.

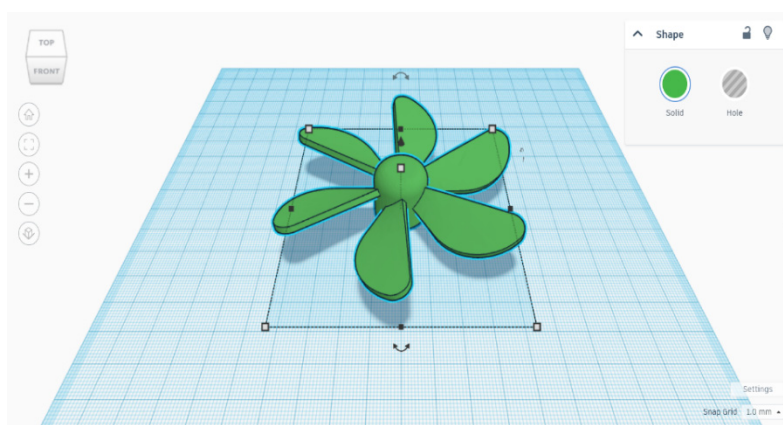
**Tinkercad** е прост и интуитивен софтуер (особено за начинаещи). Той не изисква локална инсталация, а създаване на акаунт, свързан с имейл адрес, за предпочитане свързан с образователната система, ориентирана основно към образованието. Може да се използва по-математически софтуер, ако нуждите на потребителя са за реализиране на много точни, сложни или комплексни проекти или модели. Например, споменаваме необходимостта от създаване на модели на повърхности със строги математически уравнения, като например наличие на параболична повърхност (от 3D модел), чието уравнение е известно. Така ще се обърнем към софтуер, който в областта на проектирането има възможност за въвеждане на уравнения (*Mathematica*, *DesignSpark Mechanical* и много други).

На фигура 1 е показан работният екран в **Tinkercad**. Тази мини вятърна турбина по-късно ще бъде свързана с мини електрически двигател (който може да се използва и като електрически генератор).

Освен това подчертаваме следните елементи, които са относително общи за всички софтуери за 3D проектиране (за 3D печат):

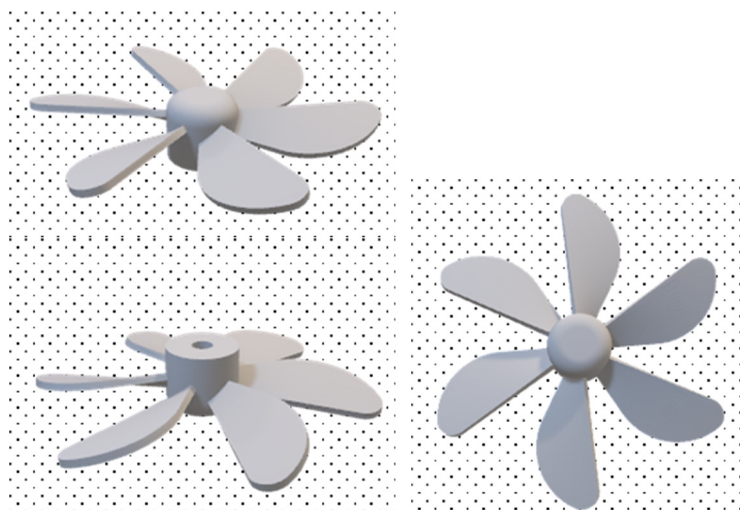


- Отличителен цвят подчертава работното пространство и, което е много важно, то може да бъде маркирано, като по този начин се разбира мащабът и размерът на 3D модела. Тук той е отбелязан в мм. Много бързо може да се види, че работим върху обект с максимален размер 90 мм (9 см). От съществено значение е, имплицитно, много ясно да се има предвид размерът на модела;
- Можем да завъртим обекта (модела) в пространството по трите оси. Но нека през цялото време на проектирането да имаме предвид, че 3D принтирането ще се извършва слой по слой. Така че имаме предвид плана за печат (на бъдещия принтер) и обикновено дори какъв тип принтер (пластмасов, метален или от смола) ще имаме на разположение, максималния размер, който този принтер може да произведе. Ако трябва да мащабираме нашия модел (да го увеличим или намалим, за предпочитане е да работим в мащаб 1:1);

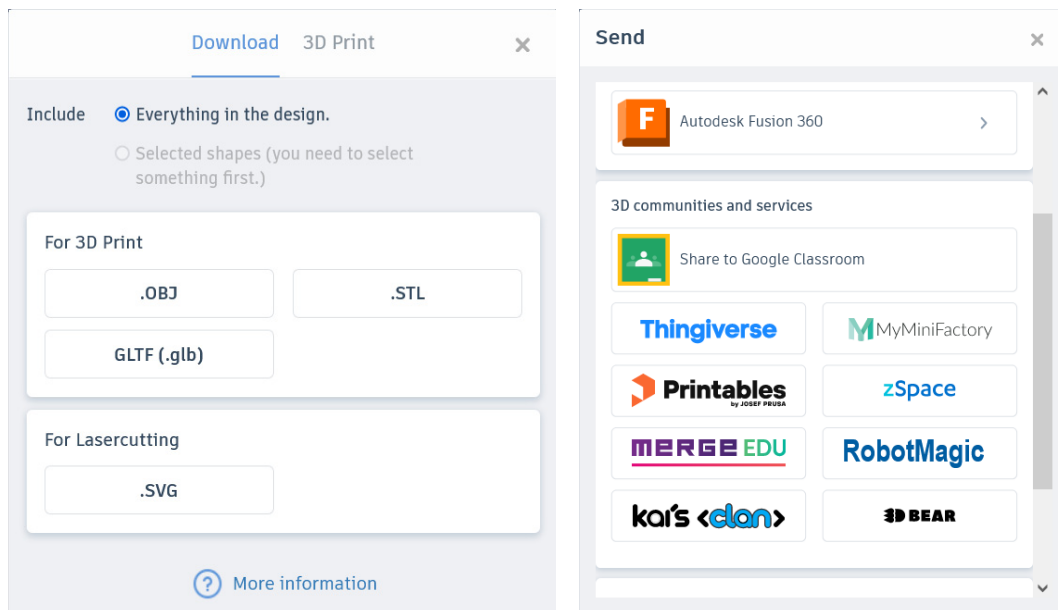


**Фигура 1.** Работното пространство в Tinkercad с минитурбина като 3D обект

- В зависимост от неговата сложност някои части на модела трябва да бъдат подпирани с излишен материал, който ще бъде отстранен по-късно. (Това зависи и от технологията на печат! В този дух ще направим и дизайна);
- Цветът или цветовете на проектирания обект също са важни. Може да се използва 3D печат с 1, 2 или повече печатащи глави, с различни цветове, евентуално с различни материали.



**Фигура 2.** Минитурбината на фигура 1, с различни проекции, е за да си представите сложността на обекта. Моделът е съставен от съществуващи части в колекцията от обекти, достъпни в Tinkercad



**Фигура 3.** След 3D проектирането от Tinkercad могат да се извършват различни операции: експортиране в стандартен формат (тип файл) за 3D принтери, като например .OBJ или .STL (лявата фигура) или експортиране като изображение (в стандартен, обичаен формат, например .GIF) или споделяне с различни приложения или платформи, като подчертаваме само Autodesk Fusion 360 и Google Classroom (фигурата вдясно)

По-късно файлът на CAD програмата ще бъде поет от 3D принтера. Проектираният модел трябва да бъде структуриран на двуизмерни слоеве (срезове). Ето защо се нуждаем от програма като Slicer 3D – която позволява преобразуването на 3D модела в език (блокове от данни), който 3D принтерът, използван в процеса, може да прочете, разбере и изпълни. Потребителят може да използва програми с отворен код за 3D нарязване (като 3DSlicer или Ultimaker Cura).

Ние използвахме принтер Raise3D с програмата за 3D нарязване – IdeaMaker Software Slicer. Можем да подготвим (за печат с Raise3D) 3D моделите с IdeaMaker и по-късно да изпратим продукта, който ще бъде 3D отпечатан, на принтера чрез платформата за управление на печата.

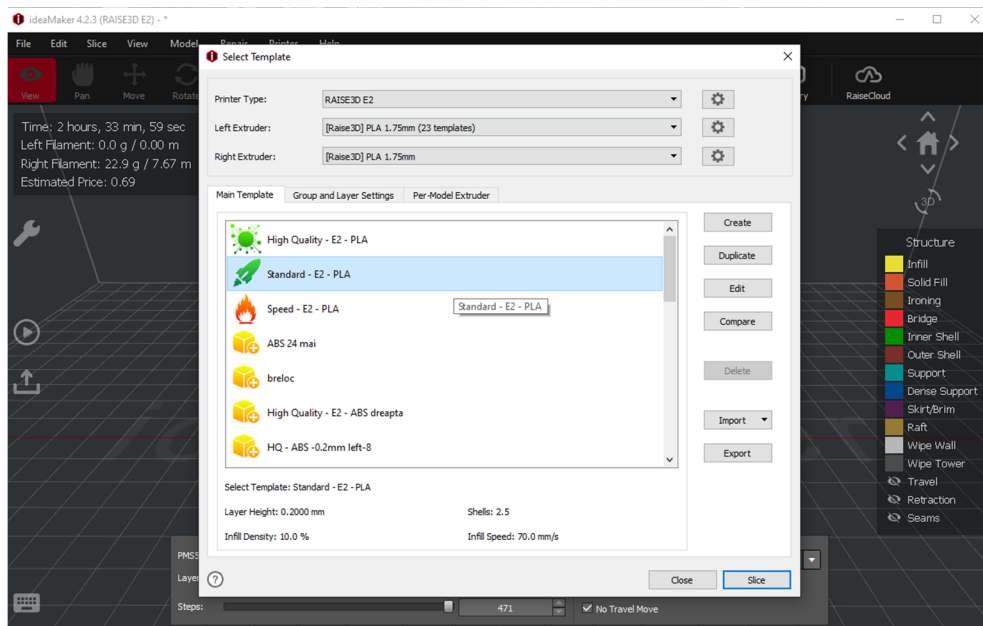
И накрая, за отпечатване ще изпратим g-код. Той е уникален (обикновено) за всеки модел. В нашия случай той е използван за симулацията в Slicer.



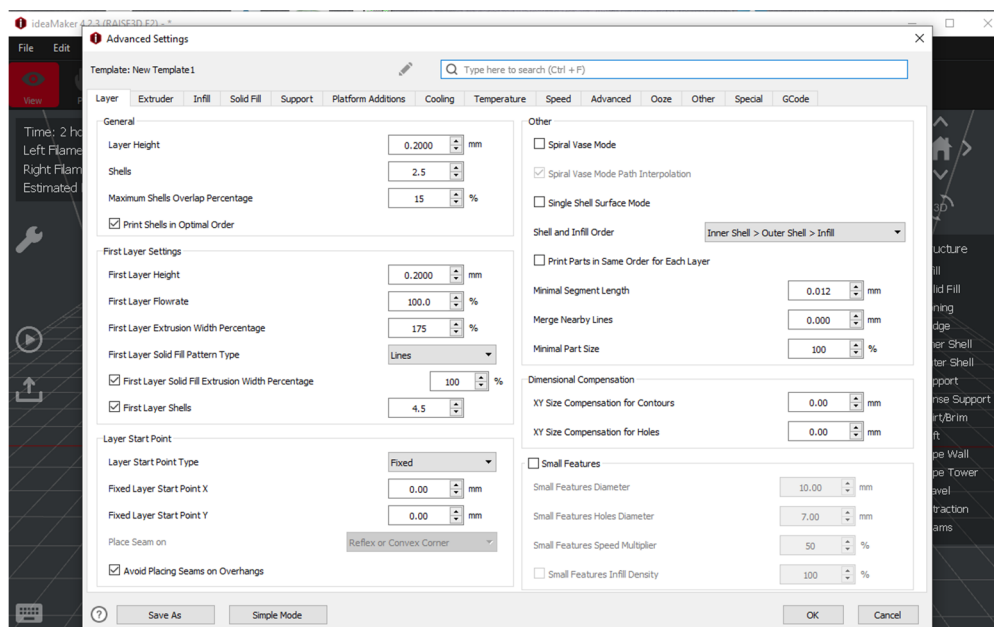
**Фигура 4.** Капаци и защитни кутии за сензори за околната среда – можете да видите скалата (като използвате писалката до двата оранжеви капака). Те са изработени от PLA.

### 7.3. Задачи

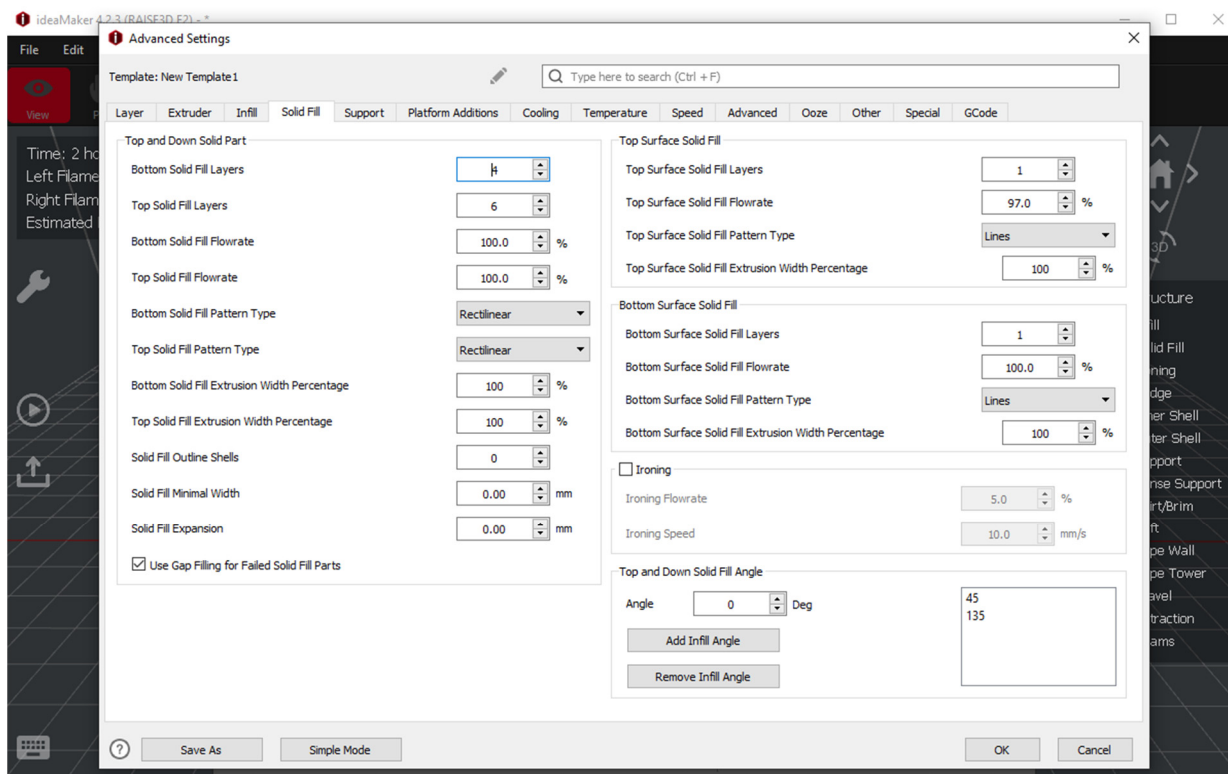
Съсредоточихме се върху всички следващи изображения (фигури 5-14) от Slicer за 3D принтиране на кутии със сензори за околната среда. Необходими са няколко стъпки, за да се гарантира, че 3D принтирането ще бъде извършено правилно. От самото начало трябва да вземем предвид ориентацията на изделието. Освен това не можем да принтираме 3D повърхности, които не са подкрепени от допълнителна опора (т.е. във въздуха, като например – таван или нещо подобно). На екрана за печат е показана всяка стъпка от тази задача по следния начин:



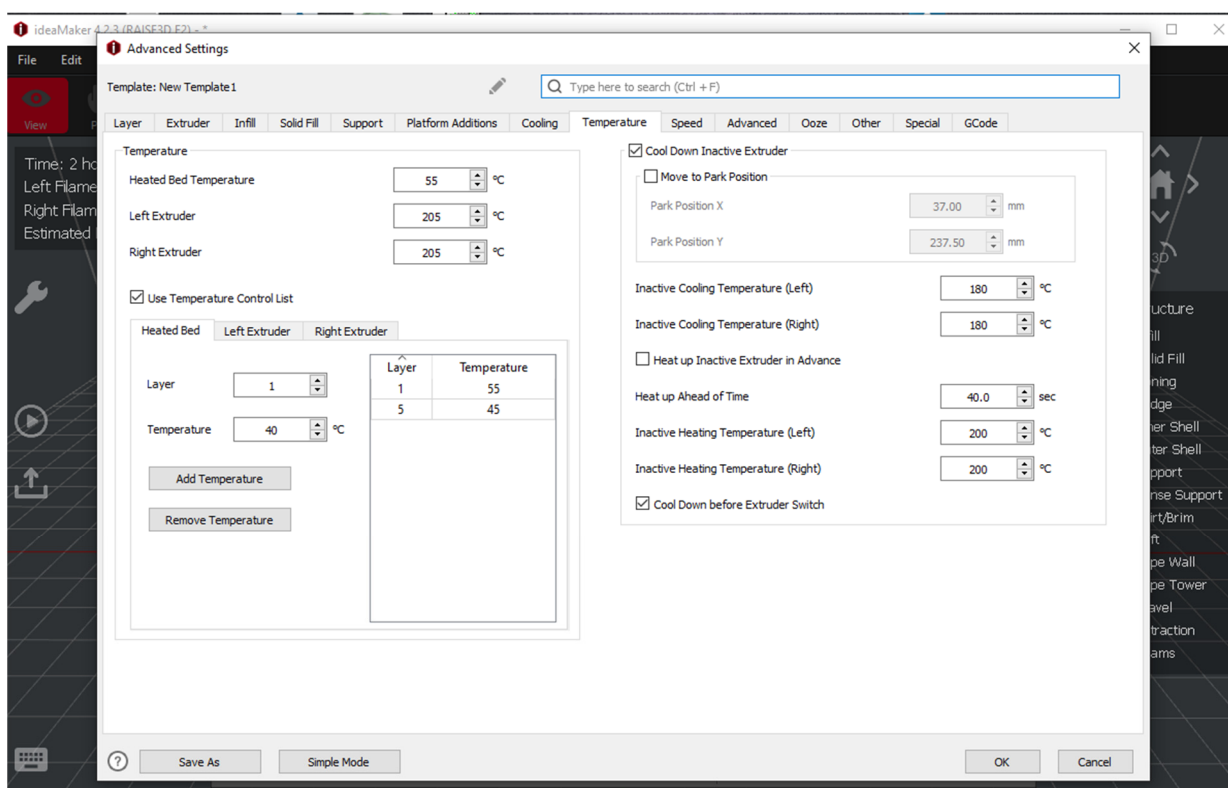
**Фигура 5.** Отпечатване на кутия за сензори за околната среда. Използваме PLA като материал за нишки. Започнахме със стандартен вариант (предоставен от софтуера на принтера), който адаптирахме към нашия модел.



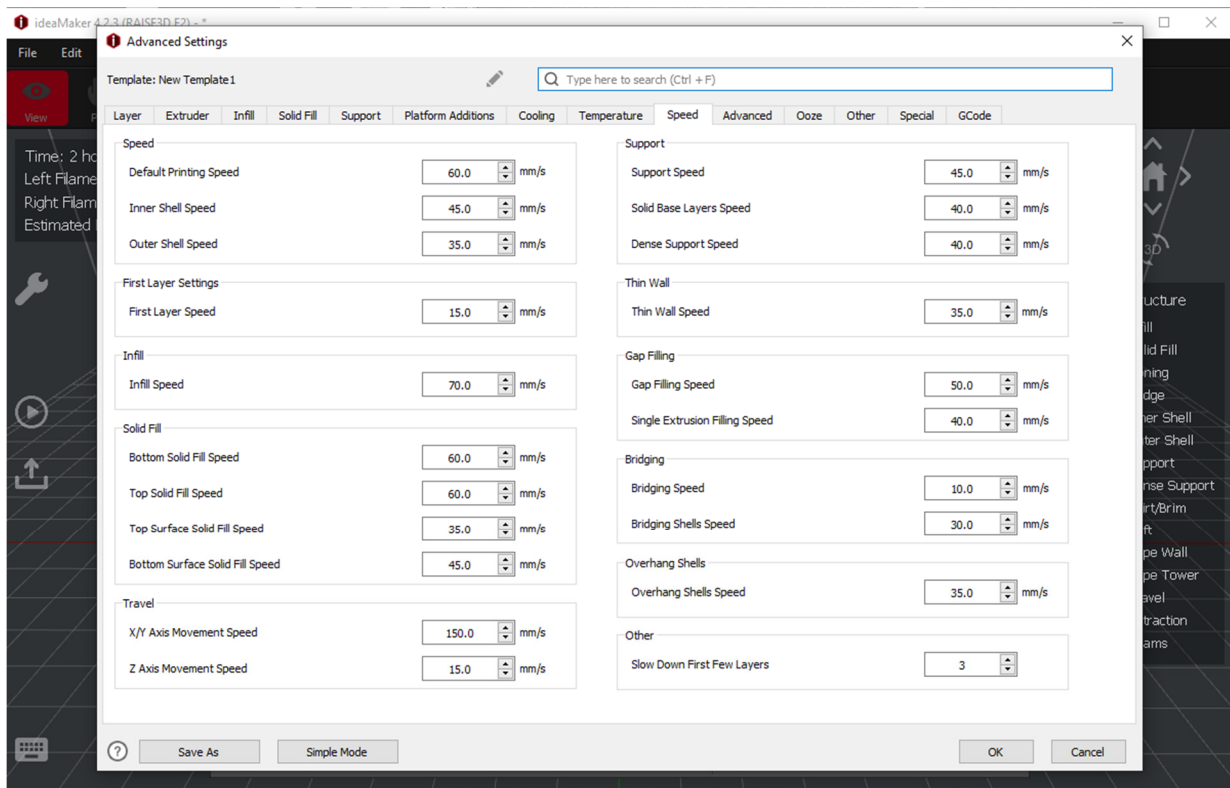
**Фигура 6.** Същото като Фигура 5. Иницирирах команди, за да предоставя на принтера информация за това как да изгради първите слоеве (слоеве), а по-късно и тялото на модела



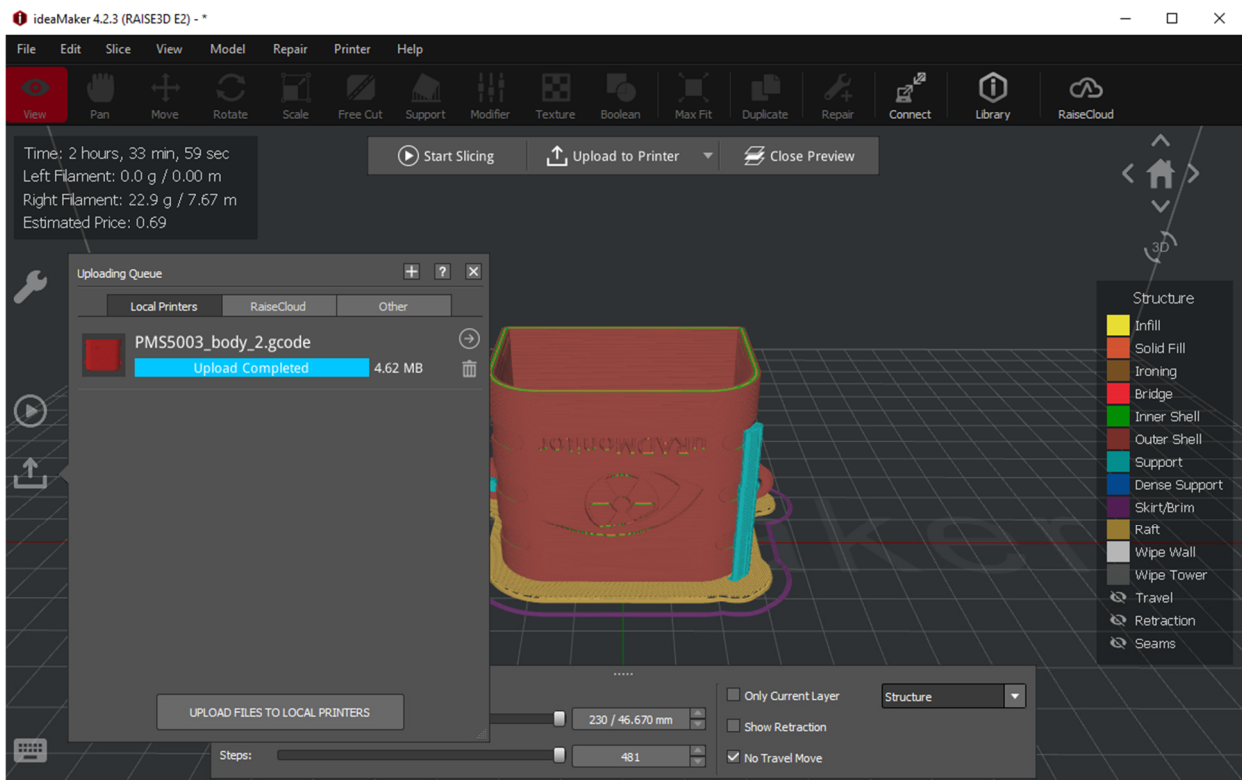
**Фигура 7.** Същото като фигури 5-6. Определихме какъв тип твърд слой ще се използва при 3D принтиране.



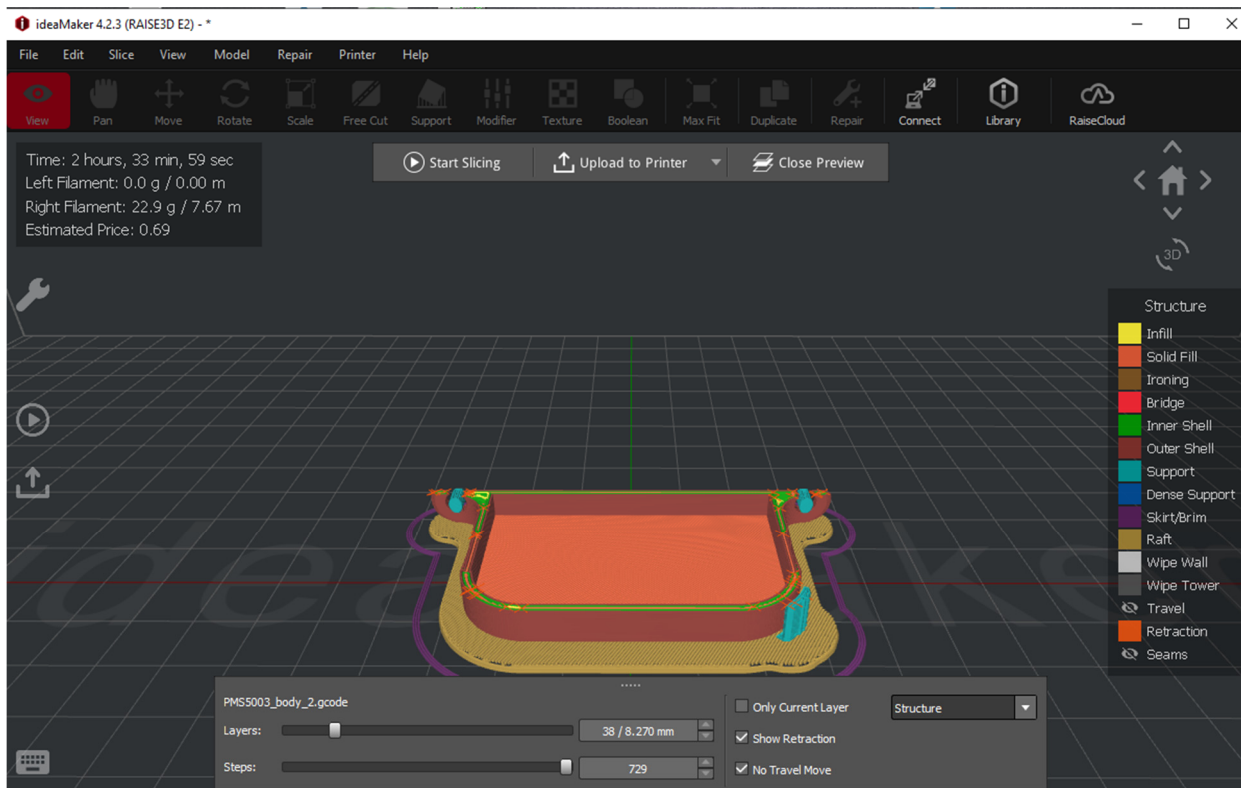
**Фигура 8.** Същото като фигури 5-7. Установихме температурите, използвани при 3D принтирането, температурата на опората (отопляемото легло), на използвания екструдер (използвахме левия екструдер; използваният принтер има две печатащи глави).



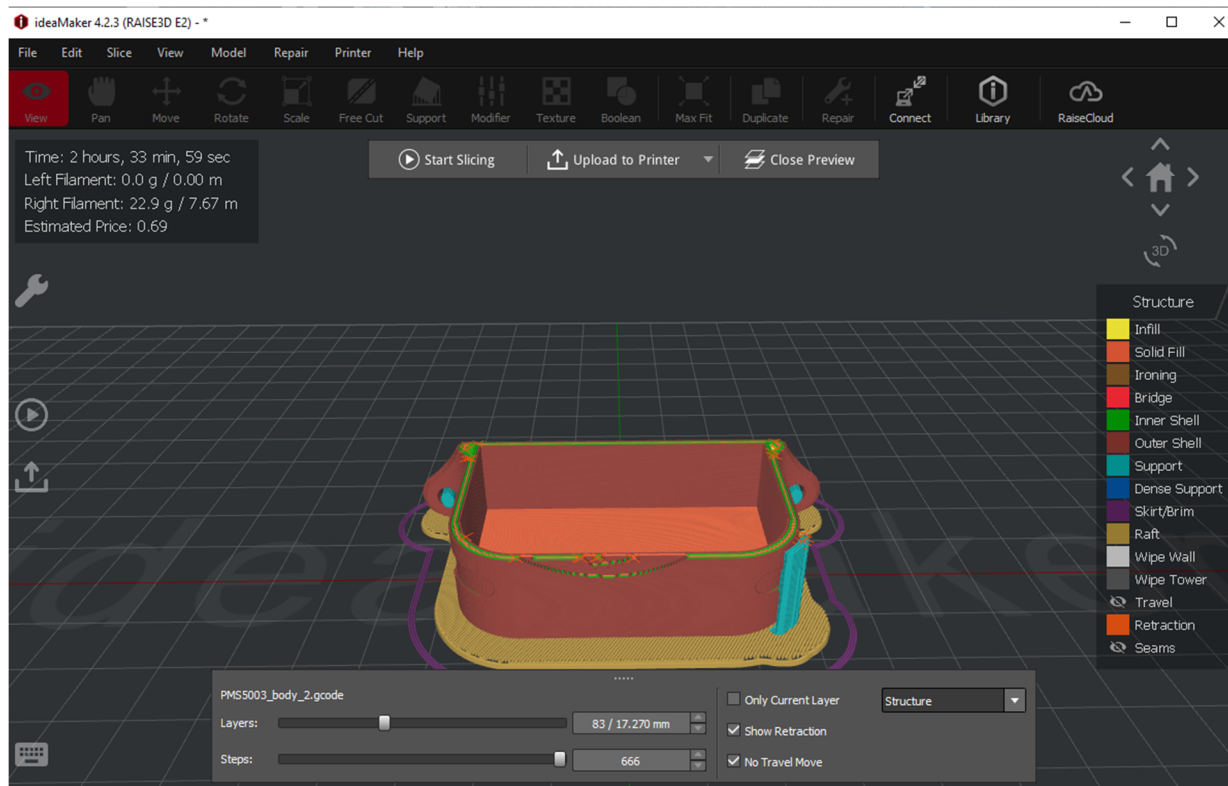
Фигура 9. Същото като фигури 5 – 8. Проверихме и зададохме скоростта на печат. За предпочитане е, особено за високи или асиметрични детайли, да се използва стандартната скорост, а не много висока, тъй като е възможно поради инерцията детайлът да се откъсне по време на печат – което автоматично води до бракуване.



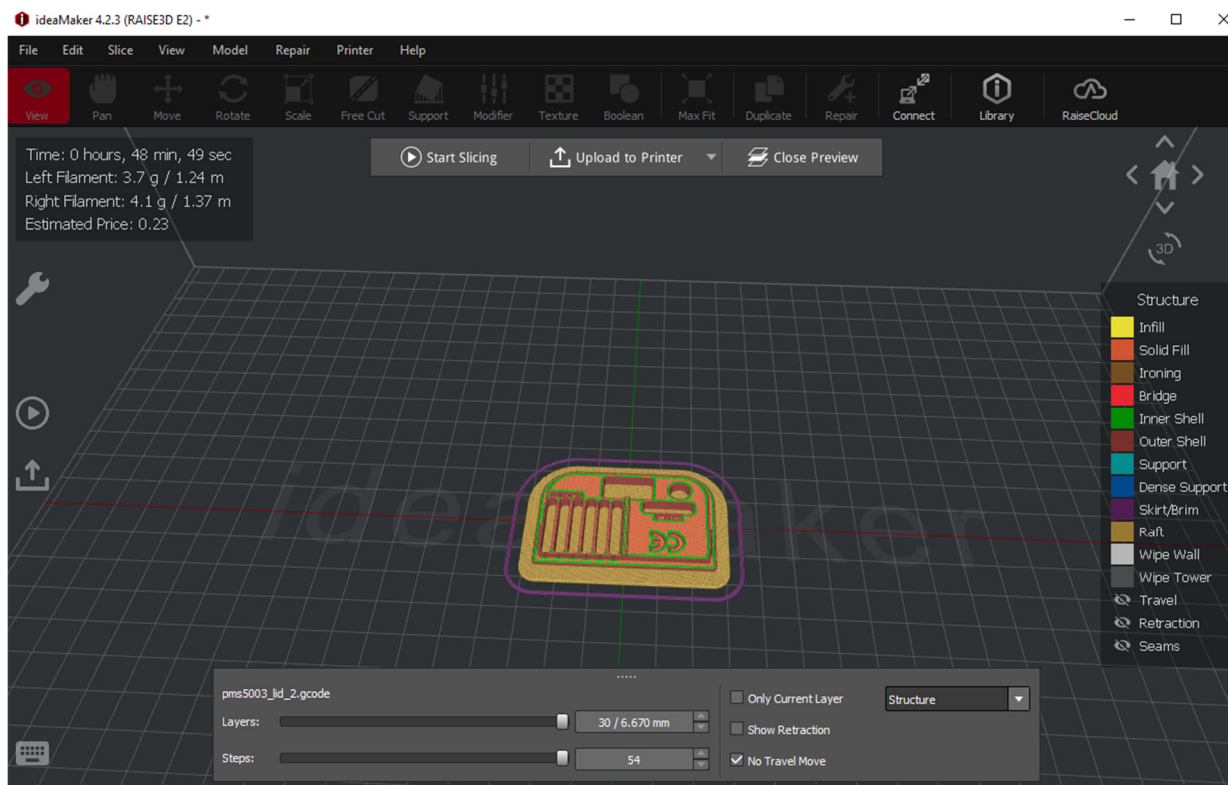
Фигура 10. Същото като фигури 5-9. След като фиксираме всички параметри, можем да създадем g-кода. След това той се качва безжично на принтера.



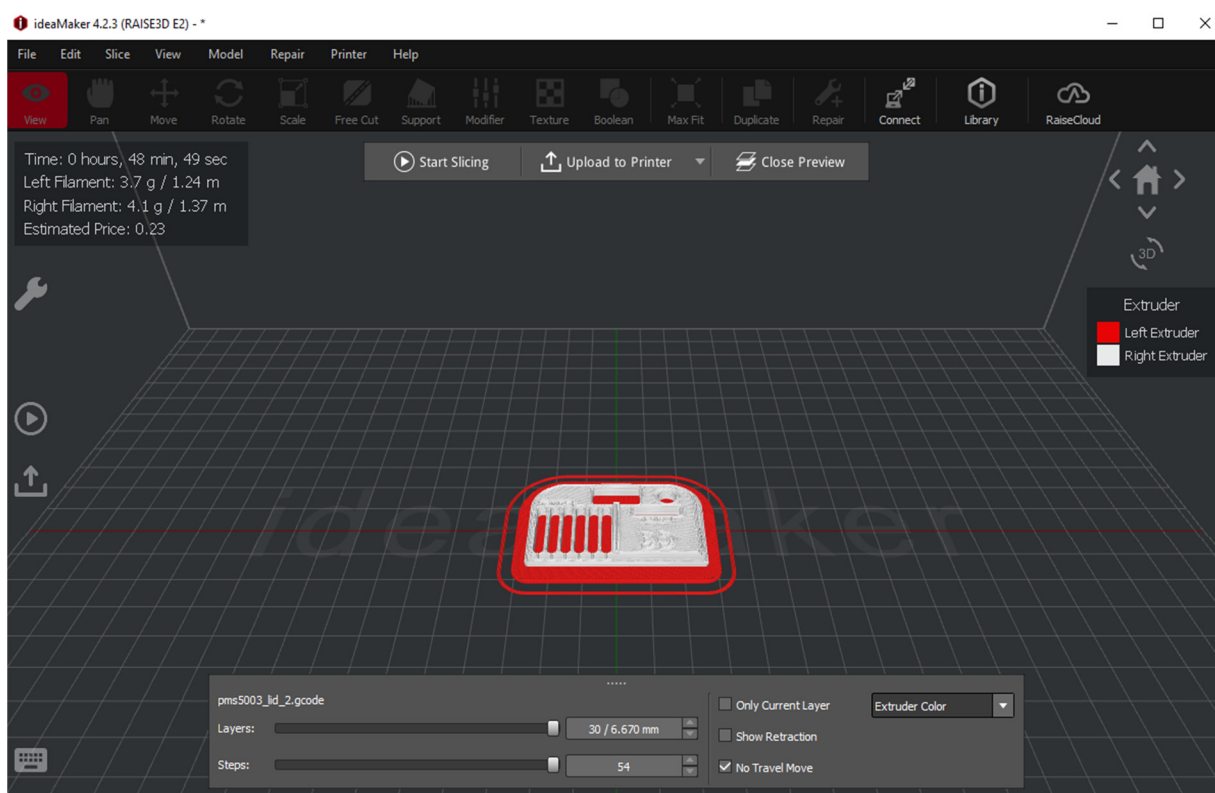
**Фигура 11.** Предварителен преглед, за да разберете как ще работи 3D принтирането на нашия модел



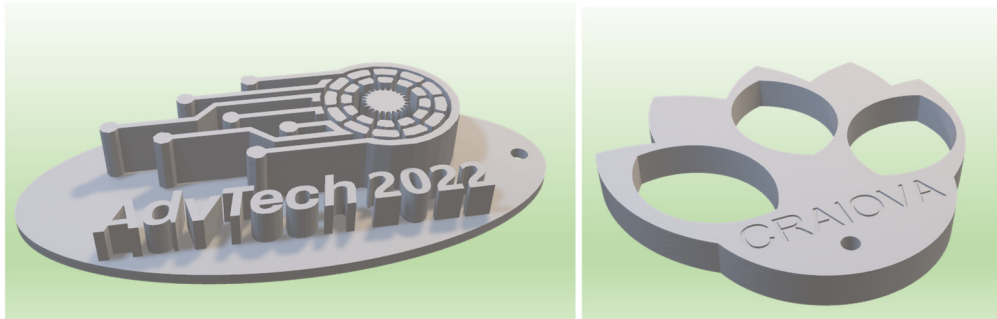
**Фигура 12.** Същото като фигура 11. Могат да бъдат избрани различни начини/цветове, за да се разбере как ще бъдат изградени базовата опора (това, което ще бъде изхвърлено), 3D частта (основата – желаният модел) и допълнителната опора (това, което ще бъде изхвърлено, премахнато – след цялостната реализация на 3D принта).



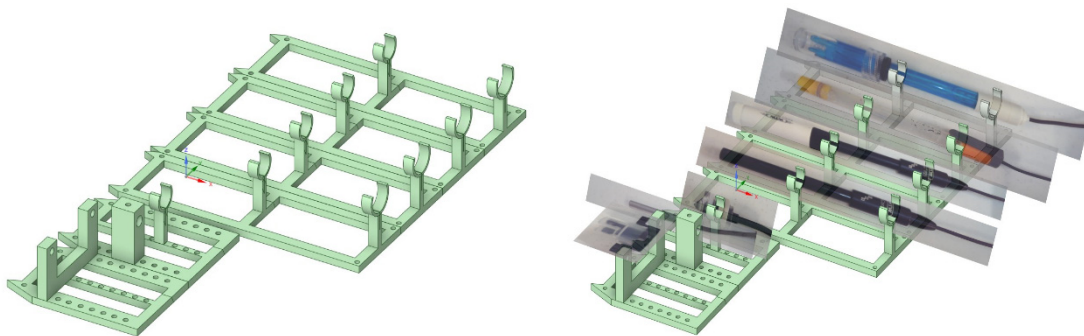
Фигура 13. Резец за капак на кутията на сензора



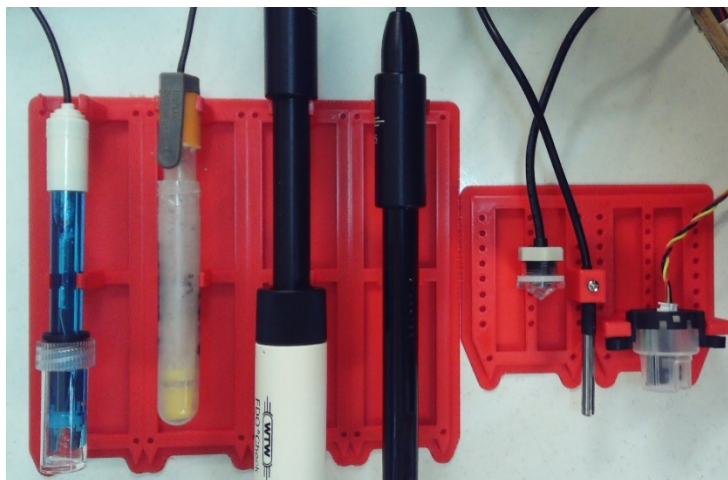
Фигура 14. Същото като фигура 13. Използвахме бял PLA за същинското тяло на 3D изделието, с червена подложка.



**Фигура 15.** Два 3D модела, прожектирани в лятното училище „Еразъм+“ (от 2022 г.)



**Фигура 16.** 3D принтиран държач за комплект сензори. От лявата страна е 3D държачът. От дясната страна имаме изображенията на сензорите, наложени върху стандартната основа (от ляво надолу към дясно нагоре имаме следните сензори: мътност, температура, ниво, проводимост, кислород, допълнителен сензор, pH).



**Фигура 17.** 3D принтиран държач за комплект сензори и сензорите (действителното изображение). Фокусирахме се върху снимките на 3D отпечатаната част.



## Литературни източници

- [1] S. Singh, Beginning Google Sketchup for 3D Printing, Publisher: Apress, 2010.
- [2] G. Fisher, Blender 3D Printing Essentials, Publisher: Packt Publishing, 2013.
- [3] H. Lipson, M. Kurman, Fabricated: the new world of 3D printing, Publisher: Wiley, 2013.
- [4] L.W. Kloski, N. Kloski, Getting Started with 3D Printing: A Hands-on Guide to the Hardware, Software, and Services That Make the 3D Printing Ecosystem, Publisher: Make Community, LLC, 2021.
- [5] C. Anandharamakrishnan, Jeyan A. Moses, T. Anukiruthika, 3D Printing of Foods, Publisher: Wiley, 2022.
- [6] C. Zoccali, P. Ruggieri, F. Benazzo, 3D Printing in Bone Surgery, Publisher: Springer, 2022.
- [7] S. Ehsani, P. Glauner, P. Plugmann, F.M. Thieringer, The Future Circle of Healthcare: AI, 3D Printing, Longevity, Ethics, and Uncertainty Mitigation, Publisher: Springer, 2022.
- [8] Joanna Izdebska-Podsiadły, Polymers for 3D Printing: Methods, Properties, and Characteristics, Publisher: William Andrew, 2022.
- [9] B. Rangel, A.S. Guimarães, J. Lino, L. Santan, 3D Printing for Construction with Alternative Materials, Publisher: Springer, 2023.
- [10] M. Doddamani, H. S. Bharath, P. Prabhakar, S. Gururaja, 3D Printing of Composites, Publisher: Springer, 2023.
- [11] Ram K. Gupta, 3D Printing: Fundamentals to Emerging Applications, Publisher: CRC Press, 2023.

## ГЛАВА 8. ПРИДОБИВАНЕ НА НАБОРИ ОТ ДАННИ, СЪБРАНИ ОТ СЕНЗОРИ

Тази глава е написана от Михаела Тинка Удристоу от Университета в Крайова, Румъния.

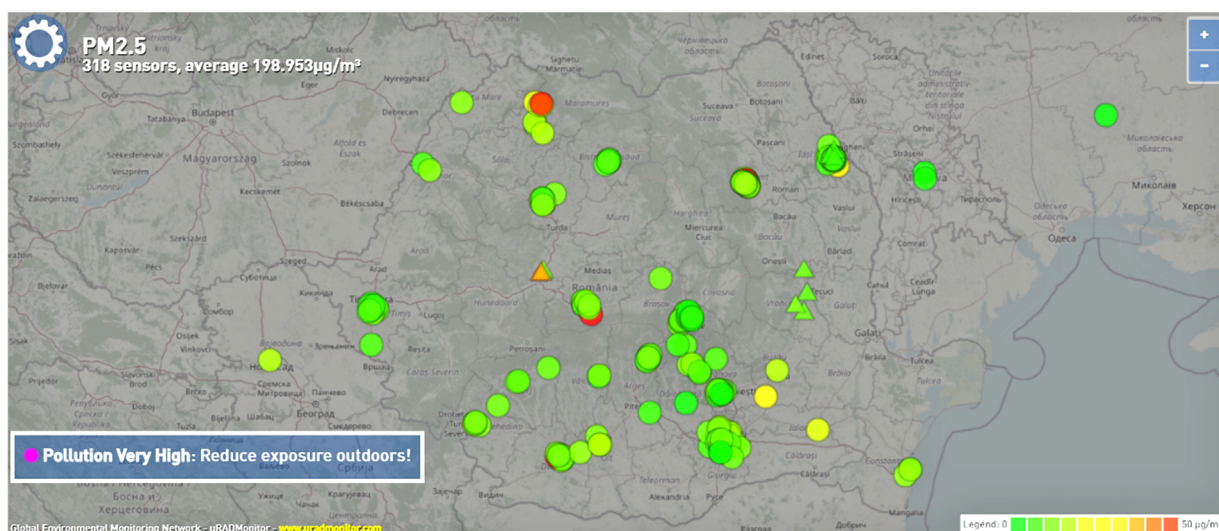
### 8. Теория

#### 8.1. Описание на сензорната мрежа

Мрежата от сензори PM Smoggie, създадена в рамките на проекта „Еразъм+“ от студенти (по време на летните училища), представлява разширяване на мрежата, която е реализирана в рамките на други три доброволчески проекта (Clear Air Craiova, Clear Air Oltenia и Prevent), изпълнени през последните години (2020-2023 г.) в Университета в Крайова. На ниво регион Олтения мрежата включва сензор АЗ, сензор за йонизиращо лъчение, сензор за радон и 33 сензора за прахови частици Smoggie. Мрежата [www.clearairoltenia.ro](http://www.clearairoltenia.ro) е част от по-голяма мрежа, [www.uradmonitor.com](http://www.uradmonitor.com), която съдържа сензори от няколко типа, включително Smoggie CO2, Smoggie Gas, Model Industrial и Model City.

На следващото изображение можете да видите сензорите на uradmonitor.com от Румъния. Повечето от сензорите са от типа Smoggie PM, като мрежата е разработена с участието на местните общности, които искат да проверят данните, предоставени от местните агенции за опазване на околната среда, в контекста на лошата комуникация от страна на местните власти. На картата са показани сензорите, които измерват концентрацията на PM2,5. Цветът на сензора е свързан с нивото на замърсяване на мястото, където е поставен сензорът (зелено означава отлично качество на въздуха, а червено – ужасно качество на въздуха). От гледна точка на полезността мрежата е проста и интуитивна.

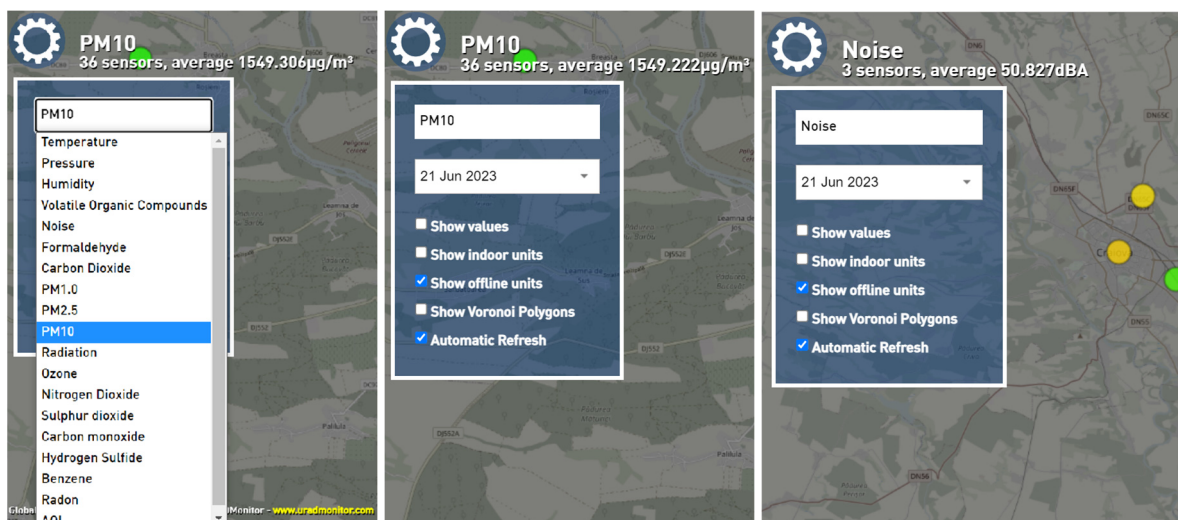
В рамките на проекта по програма „Еразъм+“ „Прилагане на съвременни технологии в обучението и научните изследвания във връзка със замърсяването на въздуха“ (договор № 2021-1-RO01-KA220-HED-000030286) мрежата беше разширена в България, Словакия и Турция, в района на партньорските университети.



Фигура 1. Мрежата от сензори в Румъния

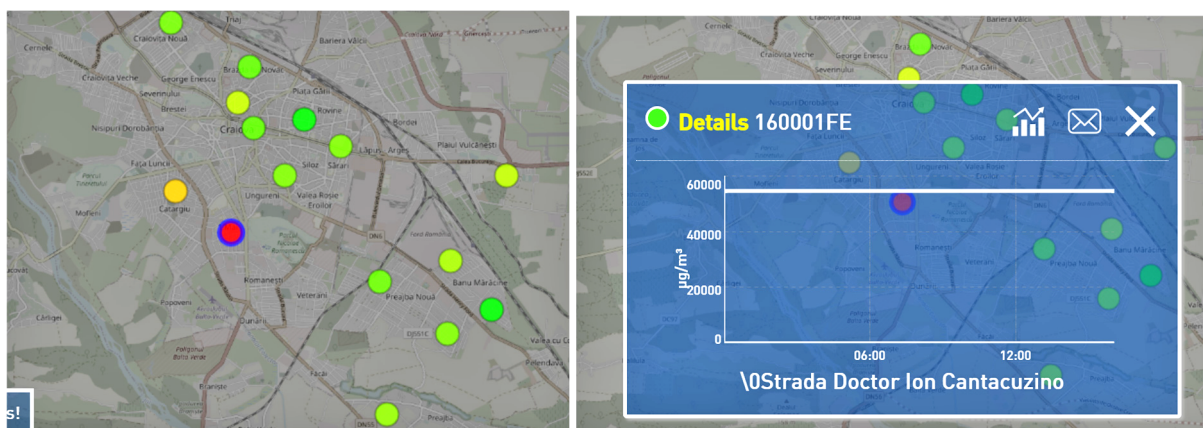
## 8.2. Лабораторна конфигурация: Четене на информация от сензори

Достъпът до мрежата е възможен от всеки, по всяко време и навсякъде. Първата стъпка, получаването на информация от текущия ден на ниво Румъния, регион или град, е да се избере сензор на сенсорната карта и след това желаният параметър. За тази цел се избира желаният параметър, както е показано на следващите изображения.



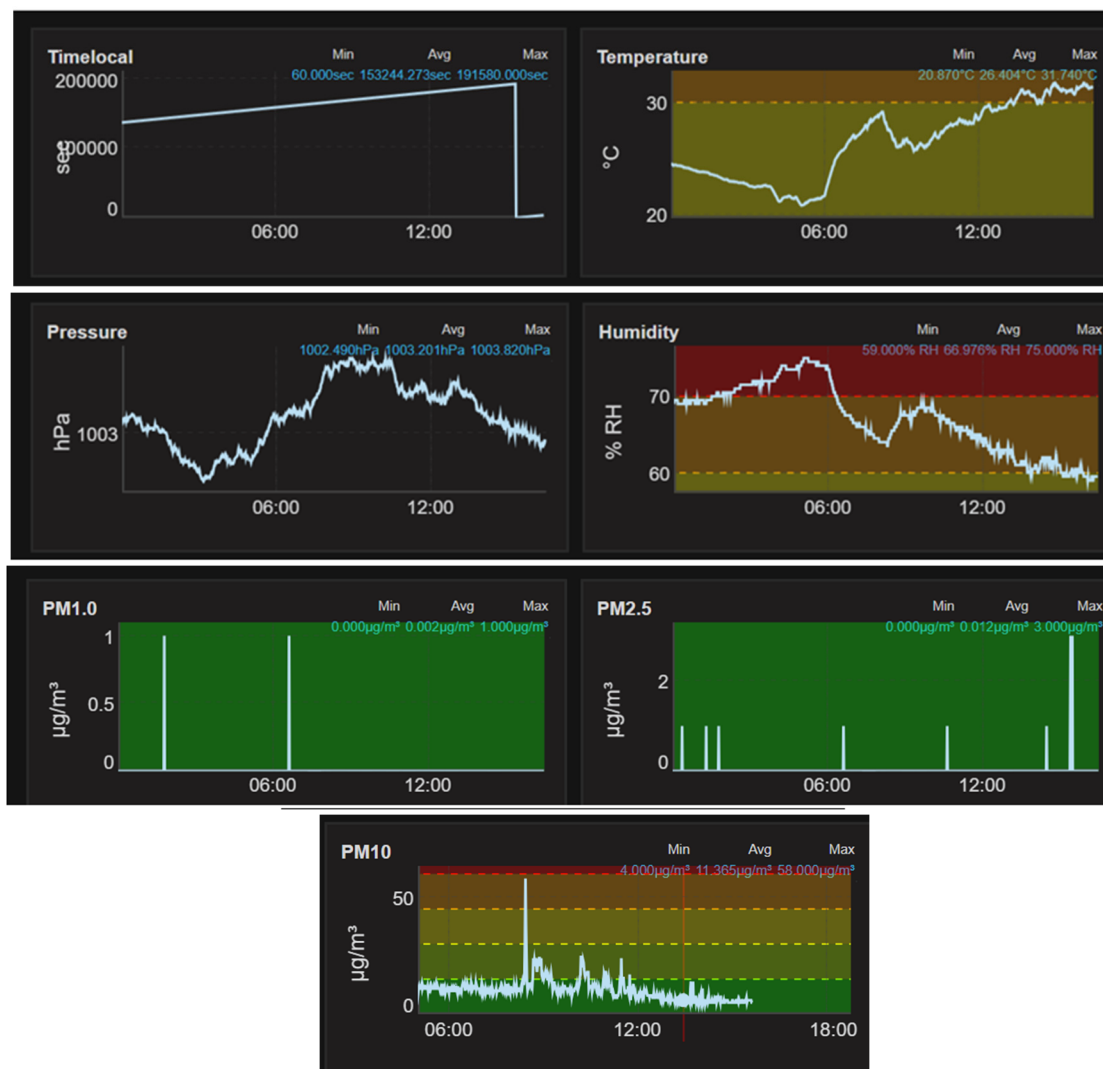
Фигура 2. Choosing the parameter about which information is desired

За да получите незабавна информация от определен сензор, е достатъчно просто да щракнете върху сензора в определена област (чиято граница става синя) и веднага се появява информация за интервал от време между 0:00 и текущото време за избрания параметър под формата на графика (за по-лесна визуализация).



Фигура 3. Избор на параметър от конкретен сензор и показана информация

Когато щракнете върху конкретен сензор, се появяват неговите измервания от този ден до текущия час. В случая със сензора PM Smoggie, в момента и на мястото, където се намира сензорът, времето представяне на всеки параметър изглежда както на следната фигура:



**Фигура 4.** Графично представяне на метеорологичните параметри и концентрациите на частици във въздуха

Сензорите в мрежата предоставят данни за по-продължителни периоди под формата на файлове тип CSV (стойности, разделени със запетая). Лице, което иска да получи набори от данни, по-дълги от един ден, трябва да изпрати заявка по електронна поща до собственика на мрежата uRADmonitor, в която да посочи сензора и периода, за който иска данни. Хората, които са закупили сензори, могат да изтеглят данни директно от своите акаунти. Сензорите PM Smoggie измерват три метеорологични параметъра (температура, налягане, относителна влажност) и три концентрации на частици, суспендирани във въздуха (PM1, PM2.5, PM10).

## 8.3. Задачи

### 8.3.1. Изтегляне на набори от данни

За да изтегли данни, потребителят влиза в уебсайта uRADmonitor и кликва върху бутона Dashboard. Следващата стъпка е да влезете в системата (Login) с потребителското си име и парола, както е показано на следното изображение.

Dashboard

ID	Placement	Status	Latitude	Longitude	Altitude (m)	City	Country
11000005							
11000007							
11000008							
11000009							
1100000A							
1100000B							
1100000C							
1100000D							

The Dashboard allows you to manage your uRADMonitor device, including changing its location on the map, or setting up notification thresholds.

Here you can access the uRADMonitor API for data download.

Those of you building DIY dosimeters will use this section to learn how to inject data into the network and get online.

To use the Dashboard you must first [login](#).

Фигура 5. Вход на потребителя

Dashboard

Welcome **mihaela\_udristoiu!** You can edit your profile [here](#). Need help? Read more [here](#).

My units | My MAP | API | Data | Notifications

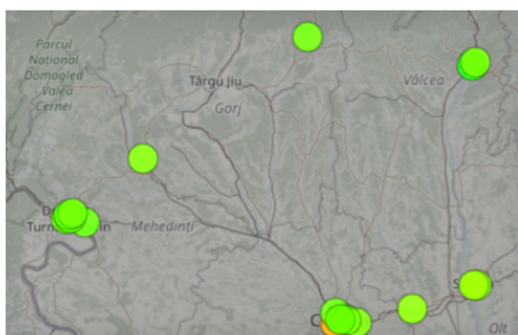
Your uRADMonitor units:

ID	Placement	Status	Latitude	Longitude	Altitude (m)	City	Country	Randomize	Hidden **	Picture	Note
16000207	Outdoor	offline	44.31818000	23.79187200	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
16000208	Outdoor	offline	44.33230000	23.79490000	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
16000209	Outdoor	offline	44.30700000	23.82270000	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1600020A	Industrial	online	44.32090000	23.81440000	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1600020B	Outdoor	offline	44.32490000	23.81590000	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1600020C	Outdoor	offline	44.32080000	23.81680000	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1600020D	Outdoor	online	44.30750000	23.78050000	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1600020E	Outdoor	online	44.33914300	23.77926100	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1600020F	Outdoor	online	44.31046000	23.86770000	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
16000238	Outdoor	offline	44.30970200	23.83537400	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
16000239	Indoor	offline	44.32210800	23.77743700	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
1600023A	Outdoor	online	44.31500000	23.82300000	100.00	Craiova	Romania	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Фигура 6. Как се появяват сензорите на потребителя в таблото за управление

След удостоверяване на автентичността потребителят може да види в таблото за управление идентификаторите на сензорите, притежавани от него, тяхното GPS местоположение, състоянието (онлайн или офлайн), града и държавата, в която се намира всеки сензор.

Като щракне върху бутона Моята карта, потребителят може да види своите сензори на картата, както е показано на следното изображение.



Фигура 7. Карта на потребителя

Бутонът API предоставя информация за начина, по който е идентифициран потребителят.

My units My MAP **API** Data Notifications

user-id : 6984  
user-key: a9a2d7e644a3dae9233583919e33ea84

user-ip : 193.231.40.130  
units : 42  
api-credit: 23595071  
global-access : 20DA7C7D,2064887C,20D9DA7E,20DA7D06

---

### API Access

Three calls is all you need to access the data in real time:

- 1. Get devices list**  
`//data.uradmonitor.com/api/v1/devices`
- 2. Get device sensors list**  
`//data.uradmonitor.com/api/v1/devices/{ID}`
- 3. Get detailed device data**  
`//data.uradmonitor.com/api/v1/devices/{ID}/{sensor}/{interval}`

**Method:** GET

**Authentication:** All calls must be authenticated with user-id and user-key sent in

### Examples

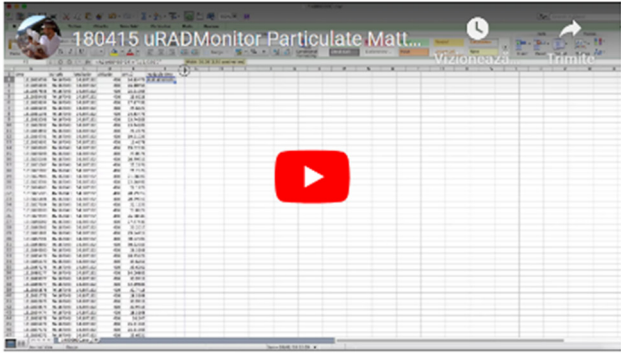
- 1. Documentation**  
Details on the API calls, parameters and authentication: [PDF Documentation for API call](#)
- 2. API calls via curl**  
Open a terminal, while making sure you have curl installed. You can read about curl or download it [here](#).  
To get the devices list, type the following code in the terminal:  

```
curl -H "X-User-id:6984" -H "X-User-hash:a9a2d7e644a3dae9233583919e33ea84" https://data.uradmonitor.com/api/v1/devices
```
- 3. GIS Application (HTML/Javascript/OpenLayers)**

Фигура 8. API информация

My units My MAP **API** **Data** Notifications

Here you can EXPORT DATA in JSON / CSV format. See a tutorial:



Readable time formula is =A2/(60\*60\*24)+\*1/1/1970" or =DATE(1970,1,1)+A2/86400 adjust it according to your own sheet.

**1. Select time interval**

21 Jun 2023

Фигура 9. Екран за отпечатване на начина, по който се появява урокът за получаване на данни в реално време в набора от данни

Щракването върху бутона Data (Данни) дава възможност да се види ръководство за експортиране на данни във формат JSON/CSV. Също така може да се получи информация, свързана с получаването на информация за реалното време, в което е направено дадено измерване. След това изберете времевия интервал, който искате да анализирате.

May 2023 June 2023

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
	1	2	3	4	5	6					1	2	3
7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10
14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17
21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24
28	29	30	31				25	26	27	28	29	30	

Today  
Yesterday  
Last week  
Last month

Apply Clear Cancel

Фигура 10. Избор на времеви диапазон, за който потребителят ще изтегля данни

За да изтеглите данни от конкретен сензор в Информационното табло, натиснете бутона Data (Данни), изберете конкретен интервал от време, след което отидете на идентификатора на сензора и изберете параметъра, за който искате да получите информация. Тя се изтегля параметър по параметър за максимален период от два месеца.

The screenshot shows the uRADMonitor dashboard with the following elements:

- Navigation menu: Home, Products, Dashboard, More.
- User profile: mihaela\_
- Section 1: "1. Select time interval" with a date range of "1 Jun 2023 - 21 Jun 2023".
- Format selection:  JSON,  CSV.
- Section 2: "2. Select Unit and Sensor then click GO".
- Table with columns: ID, Firmware, City, Status, and Download. The table lists five sensors from Craiova, with statuses ranging from offline to online.
- A dropdown menu is open over the table, showing a list of parameters: Timelocal, Temperature, Pressure, Humidity, PM1.0 (highlighted), PM2.5, PM10, and All.

Фигура 11. Избор на параметъра, който да бъде изтеглен за определен интервал от време

След като кликне върху бутона „go“, потребителят изтегля измерванията, получени през избрания интервал от време. Можете да видите процеса на зареждане и неговото завършване (брой редове с информация за избрания параметър).

The figure consists of two screenshots:

The top screenshot shows the table after clicking "go". The "Sensor" column now includes dropdown menus with the selected parameter (e.g., "Timelocal" or "PM1.0"). The "loading" status is visible for the online sensor.

The bottom screenshot shows the final data table with the following columns: ID, Firmware, City, Status, Sensor, and Download. The "Sensor" column includes dropdown menus for each row.

	ID	Firmware	City	Status	Sensor	Download
ok	16000207	21	Craiova	offline	Timelocal	go
ok	16000208	21	Craiova	offline	Timelocal	go
ok	16000209	21	Craiova	offline	Timelocal	go
loading	1600020A	21	Craiova	online	PM1.0	go
ok	1600020B	21	Craiova	offline	Timelocal	go
ok	1600020C	21	Craiova	offline	Timelocal	go

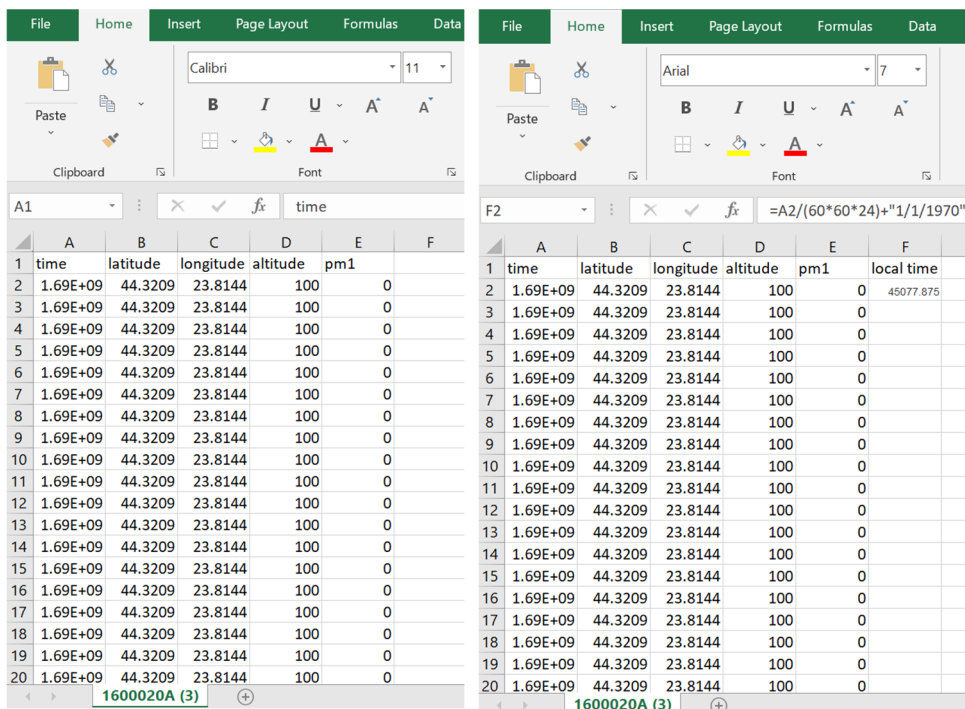
Фигура 12. Изтегляне на измервания на определен параметър

Данните във формат .csv са показани на следното изображение. За оценка на данните във времето и пространството вмъкнете в този файл колоната „real-time“ (в реално време) и използвайте една от следните формули във файла на Excel, коригирана в съответствие с вашия документ:

$$=A2/(60*60*24)+"1/1/1970"$$

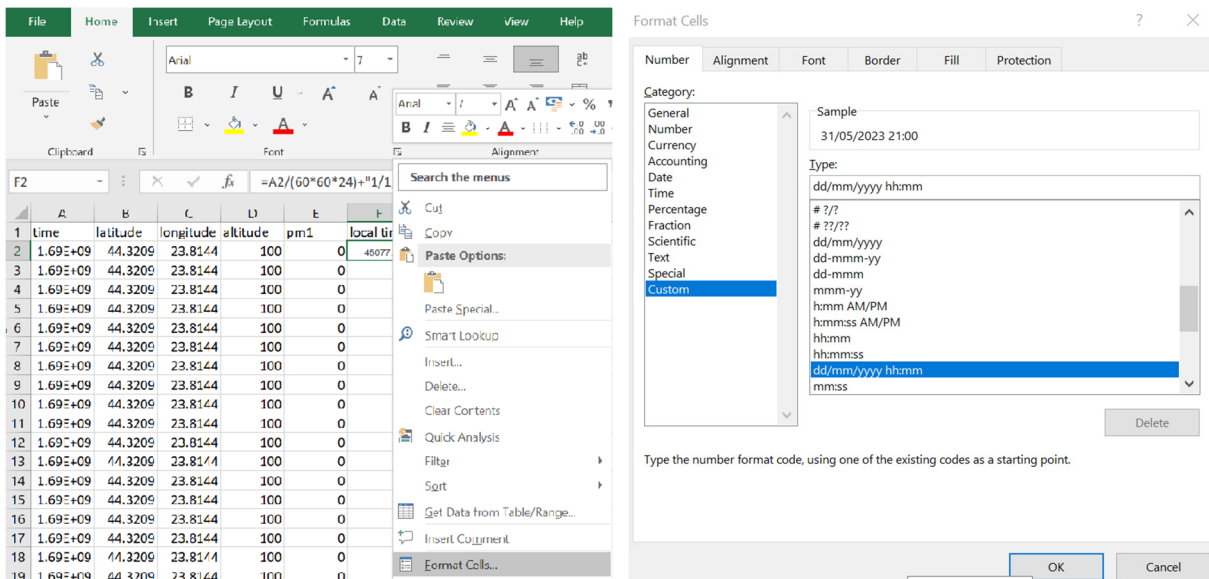
ИЛИ

$$=DATE(1970,1,1)+A2/86400.$$



Фигура 13. Вмъкване на колоната „реално време“ в изтегления документ

За да се включат датата и часът на всяко измерване, извършено от потребителя, е необходимо да се посочи форматът на клетките, като обикновено се избира формат от типа dd/mm/yyyy hh:mm. Измерванията се извършват от сензора на всяка минута, така че полученият набор от данни е огромен.



Фигура 14. Избор на формат на клетката

При двукратно щракване върху ъгъла на първата клетка под „местно време“ параметърът на времето ще се появи в цялата колона.



	A	B	C	D	E	F
1	time	latitude	longitude	altitude	pm1	local time
2	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:00
3	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
4	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
5	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
6	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
7	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
8	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
9	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
10	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
11	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
12	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
13	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
14	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
15	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
16	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
17	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
18	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
19	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	
20	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	

Фигура 15. Индикация на местното време за целия набор от измервания

### 8.3.2. Организиране на данните

Данните, свързани с всеки параметър, могат да се изтеглят за два месеца. Изтеглянето продължава параметър по параметър. Преди да започне обработката на данните, се създава матрица с всички изтеглени параметри (копиране и поставяне, колона по колона) за разглеждания интервал от време.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	time	latitude	longitude	altitude	temperature	time	pressure	humidity	pm1	pm25	pm10	co2	o3	voc	ch2o	noise
2	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	3.05	01/02/2022 22:00	99642	75.9	41	51	57	519	20	144633	12	57.35
3	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	3.05	01/02/2022 22:01	99643	75.9	40	49	55	519	20	141052	14	53.35
4	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	3.04	01/02/2022 22:02	99644	75.9	39	48	55	519	20	141488	17	57.35
5	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	3.02	01/02/2022 22:03	99642	75.9	39	49	55	523	20	146474	14	54.35
6	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	3	01/02/2022 22:04	99644	75.9	40	49	55	526	20	147530	14	53.85
7	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.99	01/02/2022 22:05	99643	75.9	39	48	54	528	20	147461	13	55.35
8	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.98	01/02/2022 22:06	99644	75.9	39	48	54	532	20	146410	12	53.85
9	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.96	01/02/2022 22:07	99642	75.9	40	49	55	529	20	147731	14	56.35
10	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.92	01/02/2022 22:08	99638	75.9	40	49	55	526	20	144453	16	52.35
11	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.89	01/02/2022 22:09	99637	75.9	39	49	55	530	20	148143	15	55.85
12	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.85	01/02/2022 22:10	99638	75.9	39	48	54	527	20	147329	15	54.85
13	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.83	01/02/2022 22:11	99638	76.4	37	46	52	520	20	149423	13	52.85
14	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.83	01/02/2022 22:12	99637	76.4	38	47	53	516	20	150504	14	56.85
15	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.81	01/02/2022 22:13	99635	76.4	39	48	54	521	20	150295	15	58.35
16	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.79	01/02/2022 22:14	99631	76.4	37	46	52	526	20	147878	12	55.85
17	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.77	01/02/2022 22:15	99633	76.4	37	46	52	523	20	149216	15	56.85
18	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.74	01/02/2022 22:16	99634	76.4	38	47	53	522	20	154764	14	60.35
19	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.73	01/02/2022 22:17	99636	76.4	39	48	55	524	20	146232	14	54.35
20	1.64E+09	44.3194	23.8011	120	2.69	01/02/2022 22:18	99636	76.4	40	49	55	524	20	144452	15	56.85

Фигура 16. Матрицата от данни, получени от даден сензор за определен интервал от време

### Литературни източници

[www.uradmonitor.com](http://www.uradmonitor.com) (последно посещавана на 10.08.2023)

[www.clearairoltenia.ro](http://www.clearairoltenia.ro) (последно посещавана на 10.08.2023)

## ГЛАВА 9. ОБРАБОТКА И КОРЕЛАЦИОНЕН АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ СЕНЗОРНИ ДАННИ

Тази глава е написана от Йон Булигиу от Университета в Крайова, Румъния.

### 9.1. Теория

#### 9.1.1. Импортиране на данни от CSV файлове в Excel

Сензорите за температура, налягане, влажност и концентрация на прахови частици във въздуха предоставят данни във файлове CSV (Comma Separated Values). Анализът на тези данни може да се извърши чрез изчислителния процесор Excel за определяне на средните стойности, установяване на корелации между вариациите на параметрите, както и синтез и графично тълкуване на сериите от данни, събрани от сензорите.

Структурните полета на таблиците с данни са следните:

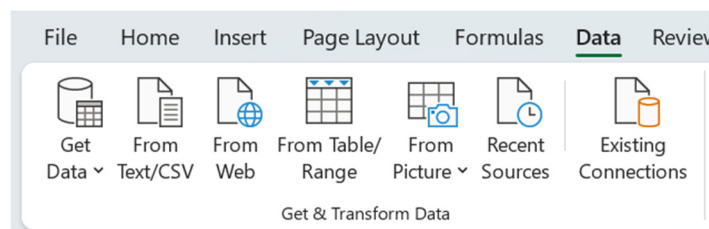
- времева справка (сериен номер),
- географска ширина,
- географска дължина,
- надморска височина,
- температура (градуси по Целзий), относителна влажност (%), налягане (hPa), PM 1, 2,5 и 10  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- местно време.

	A	B	C	D	E	F
1	time	latitude	longitude	altitude	temperature	local time
2	1652389214	44.3209	23.8144	100	21.16	12/05/2022 21:00
3	1652389274	44.3209	23.8144	100	21.13	12/05/2022 21:01
4	1652389334	44.3209	23.8144	100	21.08	12/05/2022 21:02

Фигура 1. Структура на данните, предоставени от сензорите

Данните трябва да бъдат импортирани в работни книги на Excel за правилен анализ и тълкуване.

Excel използва инструмент за импортиране от раздела **Data** (Данни), **Get & Transform Data** (Получаване и трансформиране на данни), бутон **From Text/CSV**.



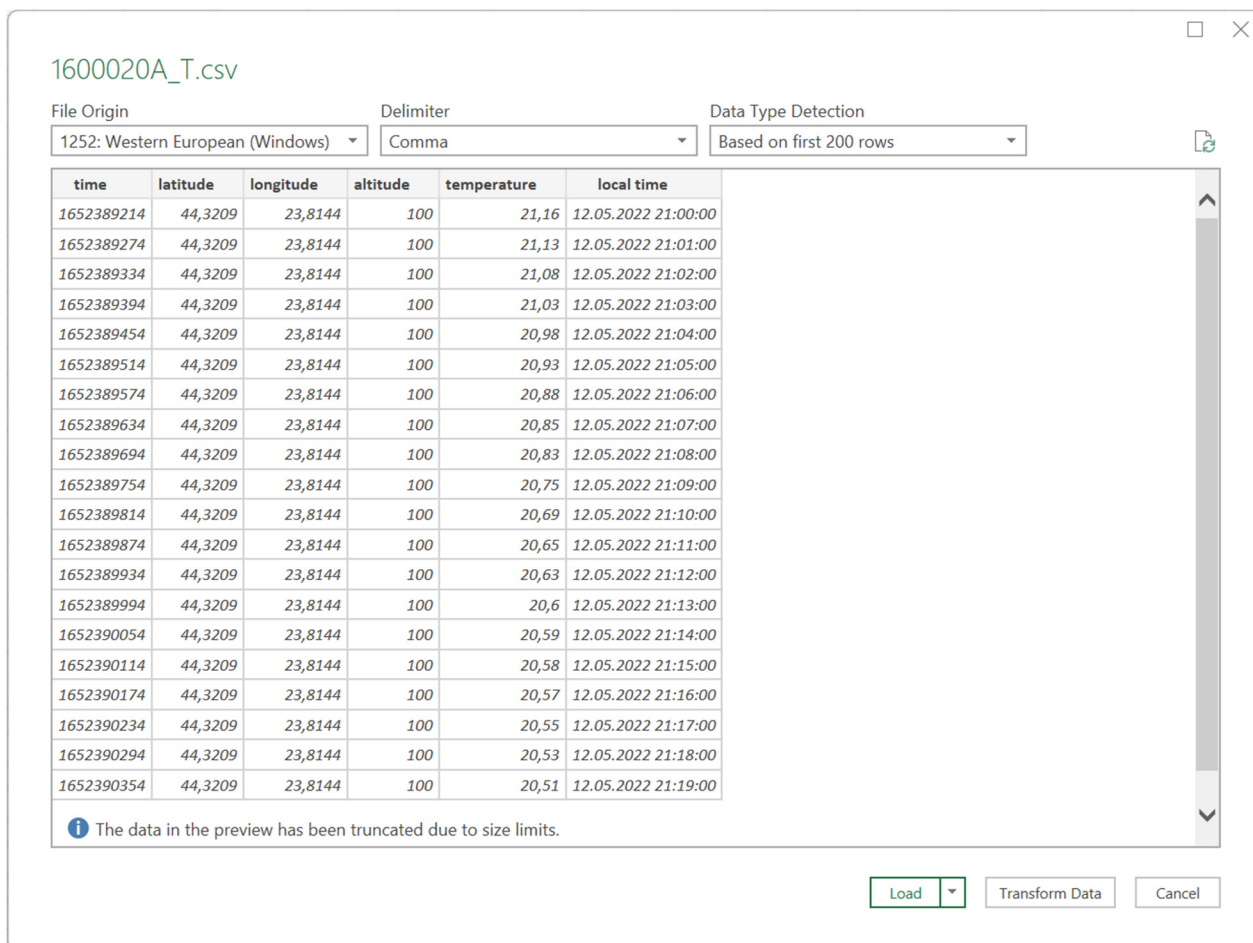
Фигура 2. Група команди за импортиране на данни в Microsoft Excel

Потребителите се насочват към CSV файла, ако искат да го импортират, и го избират.

В появилия се диалогов прозорец (фиг. 3.) изберете правилния разделител (запетая за CSV файлове) и прегледайте данните.

Натиснете бутона „Import“ (Импортиране), за да завършите процеса на импортиране, ако всички настройки са правилни.

След като завършите тези стъпки, данните от CSV файла ще бъдат импортирани в Excel и показани в таблица. Можете да запазите тази таблица като файл на Excel или да извършите всякакви други операции или анализи, които искате, с импортираните данни.



Фигура 3. Импортиране на данни от CSV файл

## 9.1.2. Централизация на данни

Започвайки от отделни файлове със структурни данни, трябва да централизираме всички данни от сензорите за температура, налягане, влажност и концентрация на прахови частици във въздуха в една таблица с данни.

Процедурата е проста, като се адресират външните данни от всеки параметър в централизираната таблица с данни.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	time	local time	latitude	longitude	altitude	temperature	pressur	humidi	PM1	PM2.5	PM10
2	1652389214	12/05/2022 21:00	44.3209	23.8144	100	21.16	100465	64	31	51	57
3	1652389274	12/05/2022 21:01	44.3209	23.8144	100	21.13	100464	64	32	50	55
4	1652389334	12/05/2022 21:02	44.3209	23.8144	100	21.08	100466	64.5	32	51	56
5	1652389394	12/05/2022 21:03	44.3209	23.8144	100	21.03	100468	64.5	32	50	55

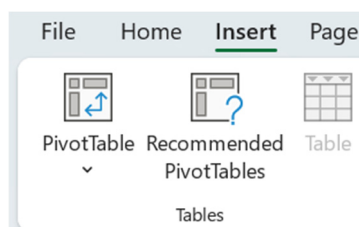
Фигура 4. Използване на външни адреси за централизиране на данни

Използването на външни адреси в клетките на обобщаващата електронна таблица е по-удобно от copy-paste поради размера на таблицата с данни и, което е по-важно, централизираните данни ще бъдат свързани с източниците на данни. Така че всяка промяна в източниците на данни ще се актуализира автоматично от Excel със задължителното условие, че работните книги и източниците на данни са отворени, когато осъществявате достъп до централизираната таблица с данни.

### 9.1.3. Обобщаване на данни с инструмента PivotTable

Следващата стъпка е да се синтезират всички сензори за данни, тъй като имаме много записи (десетки хиляди редове с данни). Всеки сензор отчита стойности на параметрите на всяка минута, така че трябва да изчислим средна дневна стойност за по-проста оценка на данните.

Правилният инструмент, който синтезира нашите данни, е **PivotTable**, която може да се намери в раздела **Insert tab** (Вмъкване) в групата команди **Tables** (Таблицы).

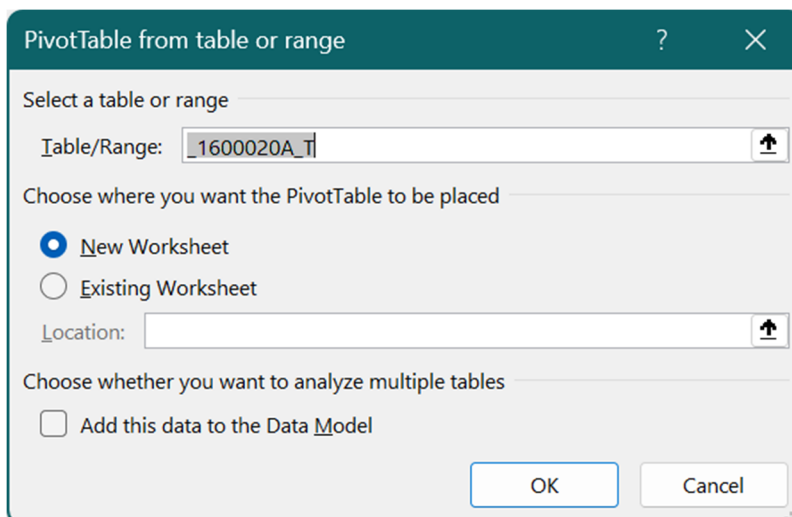


Фигура 5. Инструмент за синтез на PivotTable

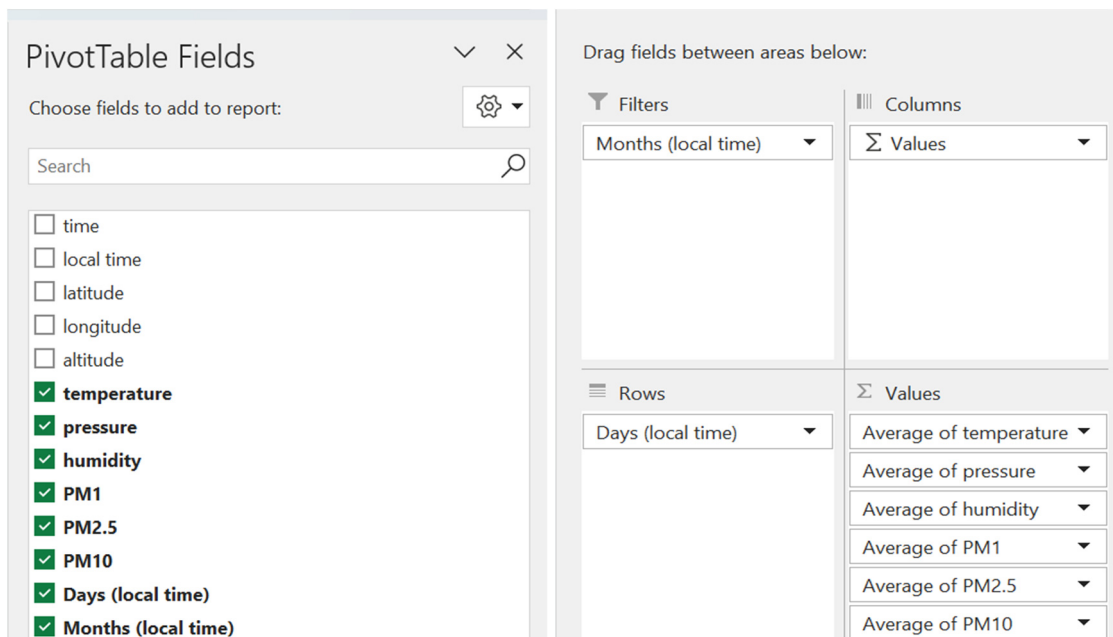
От съществено значение е, че преди да вмъкнете таблицата за завъртане в работната книга, трябва да изберете клетка в поредицата от данни (всяка клетка в таблицата с данни)!

Първата стъпка за създаване на нова въртяща се таблица е да се посочи източникът на данни на таблицата (в нашия случай) или обхватът, от който са извлечени данните, като се използва абсолютно адресиране.

Можете да изберете къде да поставите Pivot Table – като **New Worksheet** (Нов работен лист) или в съществуващ работен лист във вашата работна книга (фиг. 6.).



Фигура 6. Избиране на източника на данни



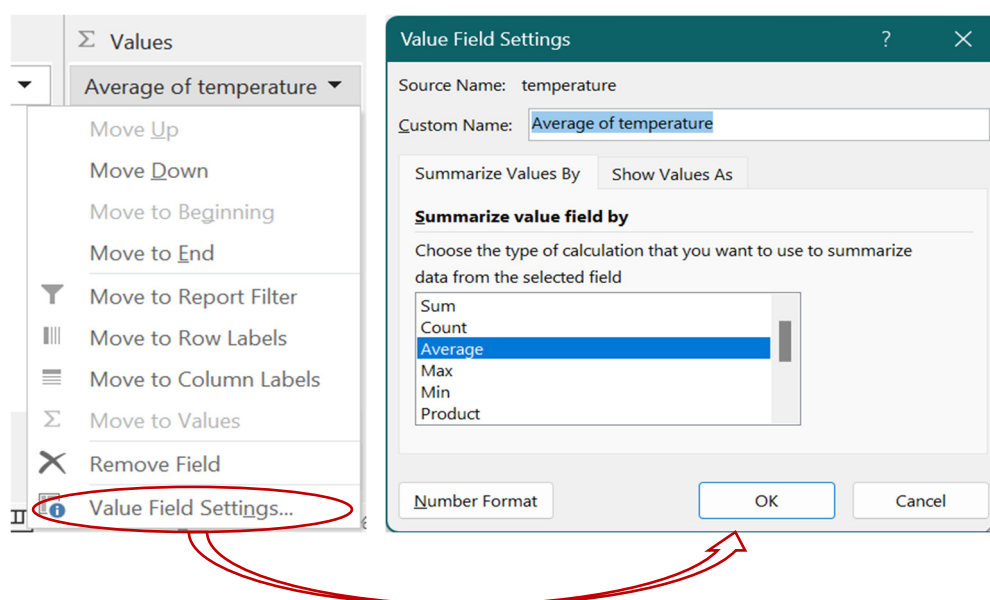
Фигура 7. Избирани полета за pivot table

В интерфейса за проектиране на PivotTable полетата на отчета за нашия анализ трябва да бъдат зададени, както следва (фиг.7):

- Филтри: месеци (местно време)
- Редове: дни (от местно време)
- Стойности: полета на всички параметри (температура, налягане, влажност, прахови частици 1, 2,5 и 10  $\mu\text{m}$ ).

С тези настройки можем да синтезираме нашите редове с данни на ниво детайлност до дни (винаги можем да променим нивото на детайлност до месеци).

За всеки параметър на полето **Values** (Стойности) трябва да посочим допълнителни настройки (фиг. 8), като например да променим полето Summarize (Обобщаване на стойности), като го зададем на Average (Средно), за да получим средна стойност за всеки ден.



Фигура 8. Задаване на изчислението на средната аритметична стойност за стойностите на таблицата с данни

В отчета на таблицата с въртене (фиг. 9) в първата колона се вижда референтното време (за ден), а след това средните стойности на всеки параметър (температура, налягане, влажност и РМ).

В първия ред на отчета можем да филтрираме сериите от данни по месеци или по месеци един по един или да изберем няколко стойности от списъка с налични месеци.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Months (local time) (All)						
2							
3	Row Labels	Average of temperature	Average of pressure	Average of humidity	Average of PM1	Average of PM2.5	Average of PM10
4	12-May	18.99	100447.20	67.67	12.72	17.99	20.75
5	13-May	23.79	100229.11	62.77	6.61	7.85	8.54
6	14-May	23.90	100031.60	64.82	5.45	6.39	6.86
7	15-May	21.43	100465.52	67.70	5.84	6.64	7.01
8	16-May	22.59	100433.05	64.03	8.56	10.45	11.18
9	17-May	22.29	100111.09	68.04	5.84	6.70	7.20
10	18-May	15.80	100713.73	75.01	2.04	2.42	2.71
11	19-May	17.22	101366.24	66.87	3.53	4.83	5.41
12	20-May	20.76	100980.39	61.70	4.23	6.09	7.03
13	21-May	23.28	100085.90	62.14	2.70	3.11	3.50
14	22-May	21.94	99671.31	59.90	1.31	1.57	1.90

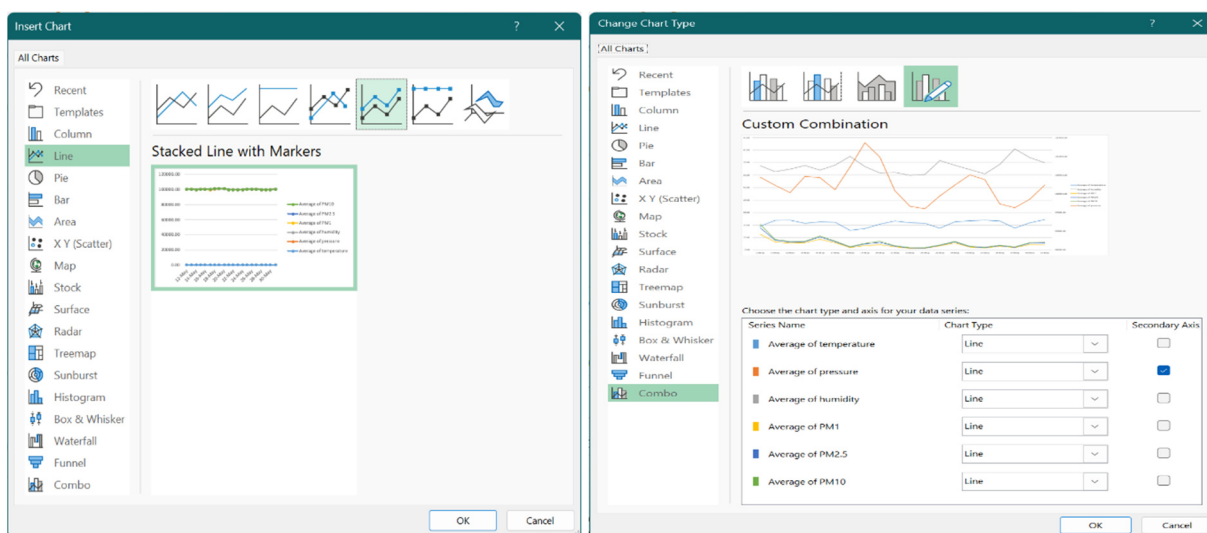
Фигура 9. PivotTable отчет

#### 9.1.4. Генериране на графики и интерпретация на потока от данни

Поредиците от данни, генерирани в отчета Pivot Table, вече са синтезирани. Редуцирали сме много записи на данни във времеви ред със средни стойности, изчислени за всеки параметър на сензора. Все пак е трудно да се наблюдават и сравняват вариациите в числените стойности.

Решението е да начертаем редовете от данни, за да разберем по-добре развитието на всеки параметър във времето и можем да доближим първичната корелация между нашите данни.

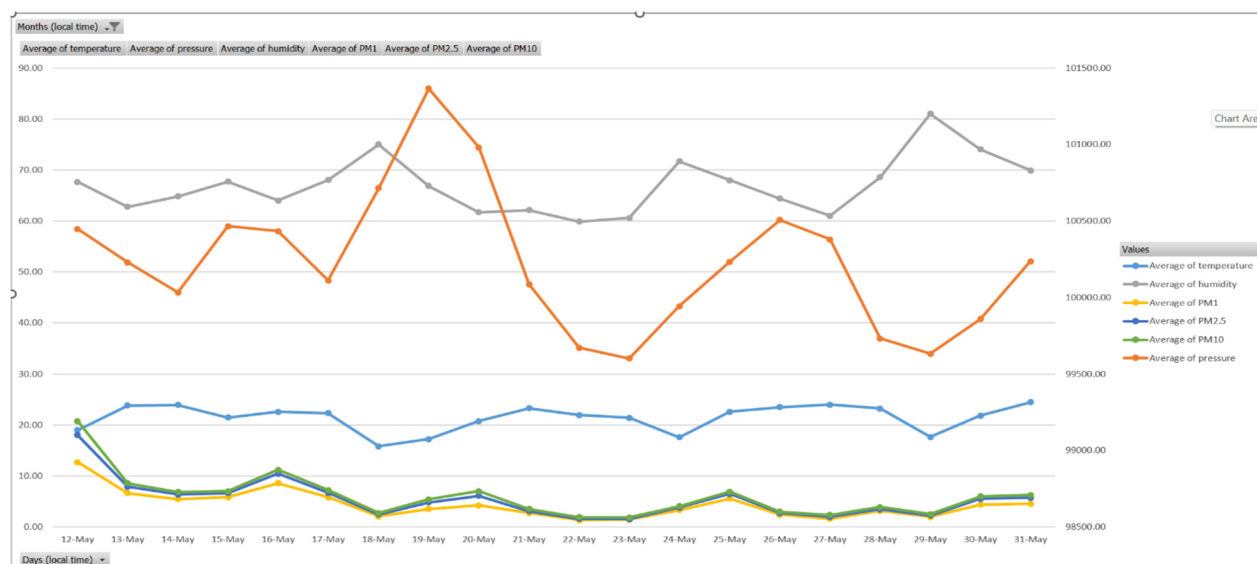
Избираме тип диаграма чрез линии или линии с маркери, а след това използваме диаграма, комбинирана с вторична ос за налягането, тъй като стойностите са твърде големи за представяне на същата ос, но на температурата.



Фигура 10. Избор на тип диаграма за корелационен анализ

По този начин ще получим диаграма за извършване на корелационен анализ на проследяваните параметри.

От изследването на диаграмата може да се види синхронно развитие на данните за количествата частици с размери 1, 2.5 и 10  $\mu\text{m}$ . В същото време могат да се разграничат средни корелации между температурата и набора от показатели за прахови частици, както и средна обратна корелация между температурата и влажността и слаба обратна корелация между температурата и налягането.



Фигура 11. Ниво на корелация за всеки параметър

Сравнителният анализ чрез изучаване на диаграмите на представяне обаче е приблизителен, така че е необходимо да се определи точно нивото на корелация и нейният вид чрез изчисляване на коефициентите на корелация на проследяваните параметри.

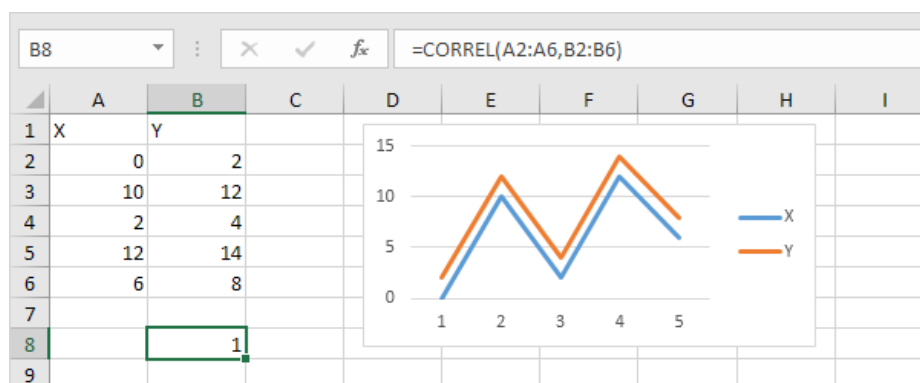
## 9.2. Корелационен анализ

### 9.2.1. Изчисляване на коефициенти на корелация с помощта на Analysis Toolpak

Коефициентът на корелация показва колко силно свързани са две променливи и може да приема стойности от -1 до +1.

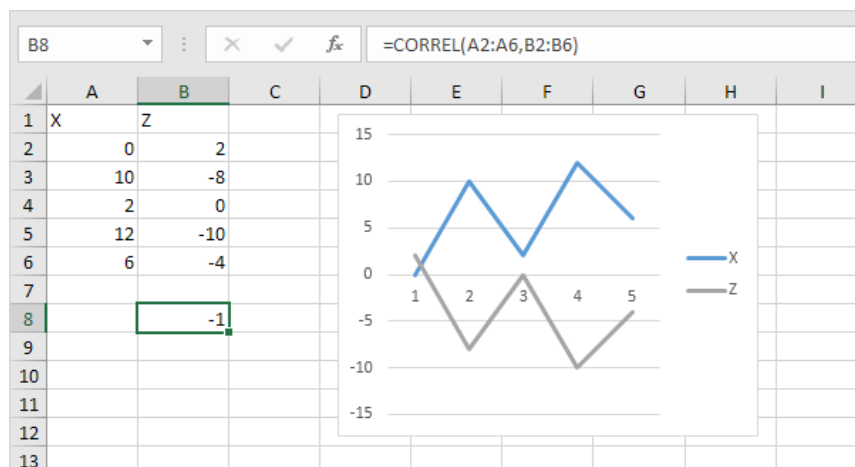
Microsoft Excel предоставя на потребителите функцията CORREL или добавката Analysis Toolpak, за да изчислят коефициента на корелация между две променливи.

Корелационен коефициент със стойност +1 показва **перфектна положителна корелация** (фиг. 12). С увеличаването на променливата X се увеличава и променливата Y. Когато променливата X намалява, променливата Y намалява.



Фигура 12. Перфектна положителна корелация между променливите X и Y

Корелационен коефициент със стойност  $-1$  показва **перфектна отрицателна корелация** (фиг. 13). С увеличаването на променливата X променливата Z намалява. С намаляването на променливата X, променливата Z се увеличава.

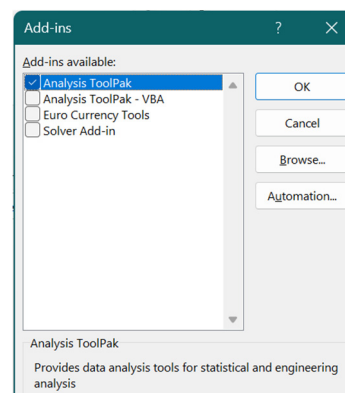


Фигура 13. Перфектна отрицателна корелация между променливите X и Z

Коефициент на корелация, близък до 0, показва липса на корелация.

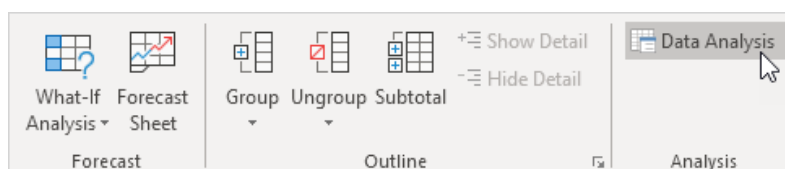
Инструментът за анализ на данни Analysis ToolPak позволява бързо изчисляване на коефициенти на корелация между няколко променливи.

Analysis ToolPak може да бъде активиран в Excel със следните последователности от команди: **File – Options – Add-Ins**, след това се натиска бутон **Go...**, и от списъка с инструменти, избира се **Analysis Toolpak**, след това се натиска **OK**.

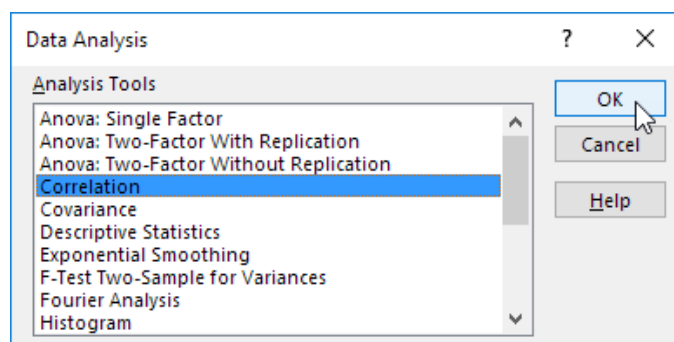


Стъпките, които трябва да се предприемат, са следните:

1. В менюто **Data**, група команди **Analysis**, натиска се бутон **Data Analysis**:

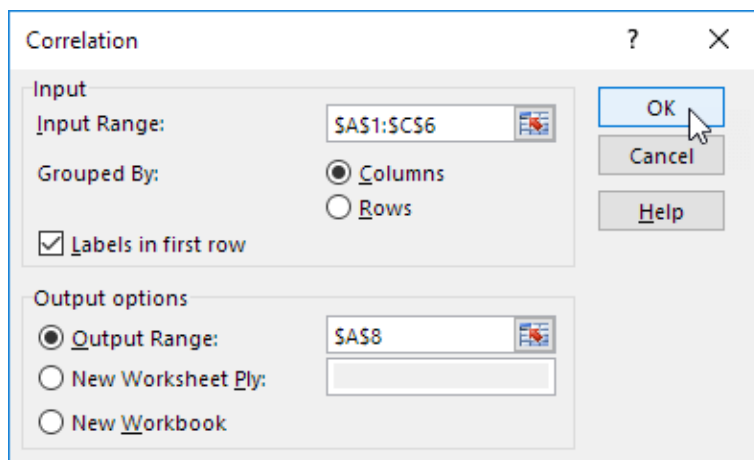


2. В диалоговия прозорец, който се появява, изберете от списъка с инструменти **Correlation** и натиснете **OK**:



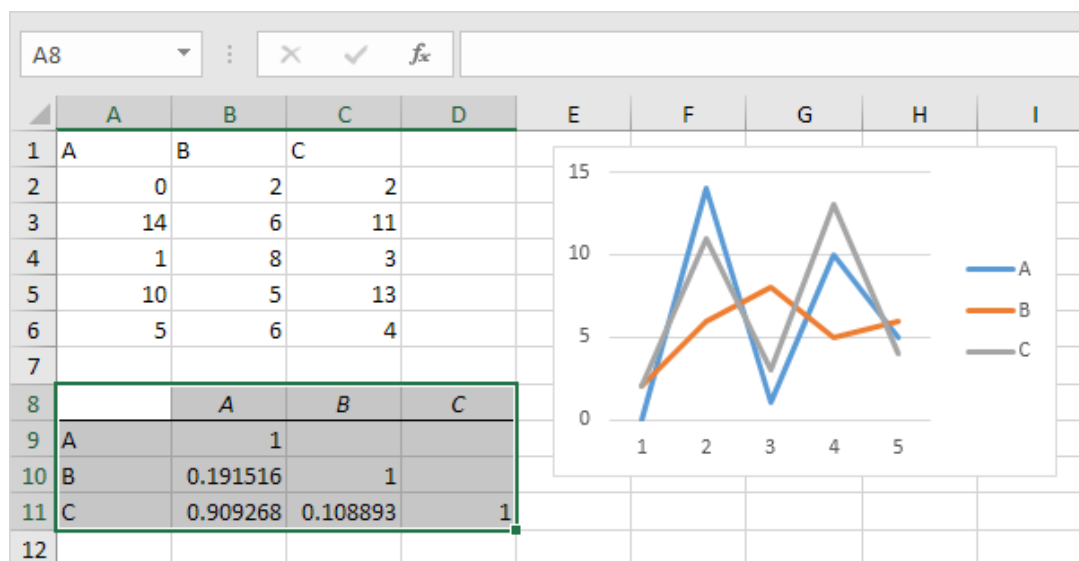


3. В този пример изберете диапазона A1:C6 като входен диапазон.
4. Активирайте полето **Labels in the first row**.
5. Изберете клетка A8 като място за представяне (**Output range**).
6. Щракнете върху ОК.



Фигура 14. Задаване на параметри за определяне на корелациите

От получените резултати (фиг. 15) се вижда, че променливите А и В са положително корелирани (0,91); променливите А и В са слабо корелирани (0,19). Променливите В и С също имат слаба корелация (0,11). Можете също така да проверите тези заключения, като изучите графиката.



Фигура 15. Анализ на корелационните коефициенти между променливи А, В и С.

### 9.2.2. Корелационен анализ между параметрите на CO<sub>2</sub>, шума, CH<sub>2</sub>O и O<sub>3</sub>

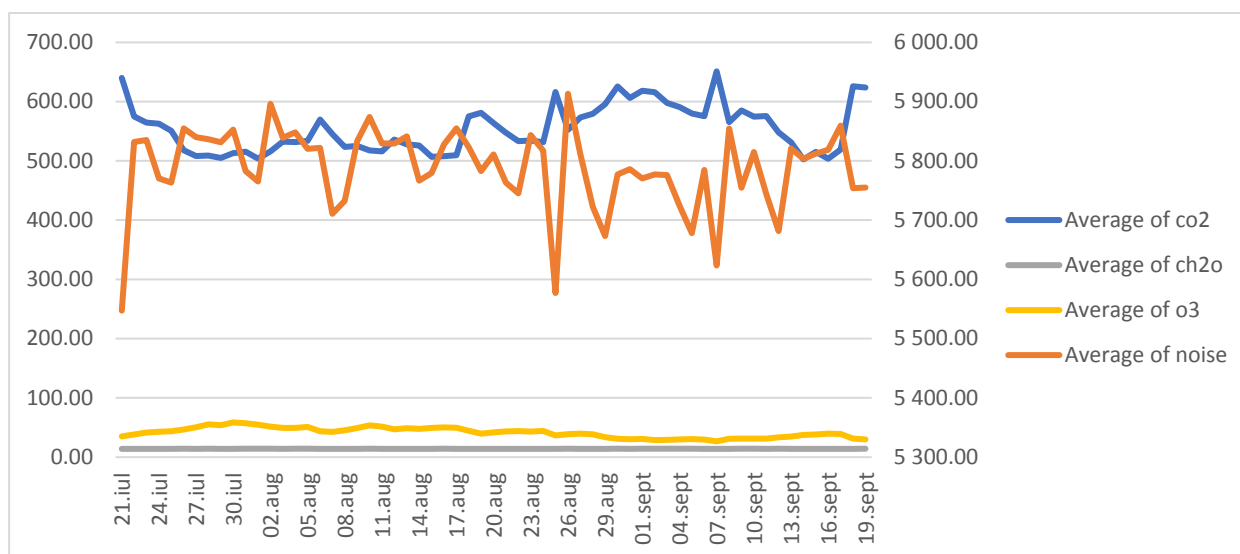
По-долу ще разгледаме корелационния анализ за параметрите на CO<sub>2</sub>, шума, CH<sub>2</sub>O и O<sub>3</sub>, като следваме описаните по-горе стъпки, импортираме данни от CSV файлове, централизираме данните и ги синтезираме. Резултатите, получени за тези параметри, са представени в следващата таблица.

**Таблица 1.** Корелационна таблица между параметрите на CO<sub>2</sub>, шума, CH<sub>2</sub>O и O<sub>3</sub>

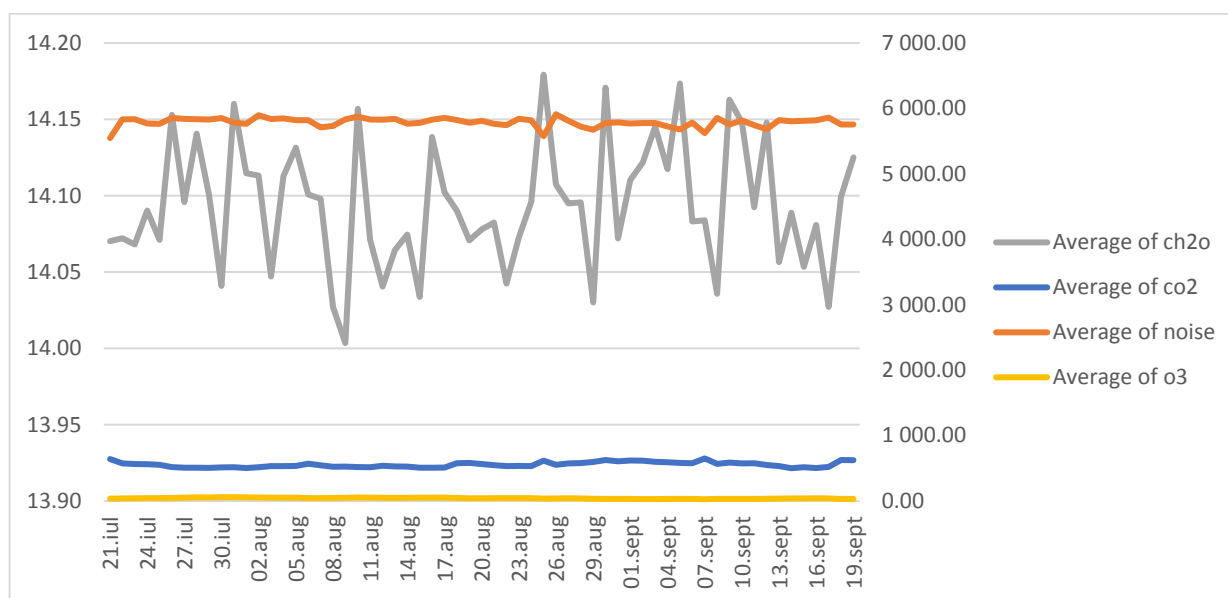
	Average of co2	Average of noise	Average of ch2o	Average of o3
Average of co2	1			
Average of noise	-0,602455913	1		
Average of ch2o	0,213288816	-0,149072181	1	
Average of o3	-0,792741937	0,475328544	-0,127393812	1

В обхвата на изследваните данни се наблюдава отрицателна корелация (-0,60) между CO<sub>2</sub> и шума, слаба положителна корелация (0,21) между CO<sub>2</sub> и CH<sub>2</sub>O и по-добра отрицателна корелация между CO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub> (-0,79). В същото време при шума се наблюдава слаба отрицателна корелация (-0,149072181) с параметъра CH<sub>2</sub>O и средна положителна корелация (0,475328544) между шума и O<sub>3</sub>.

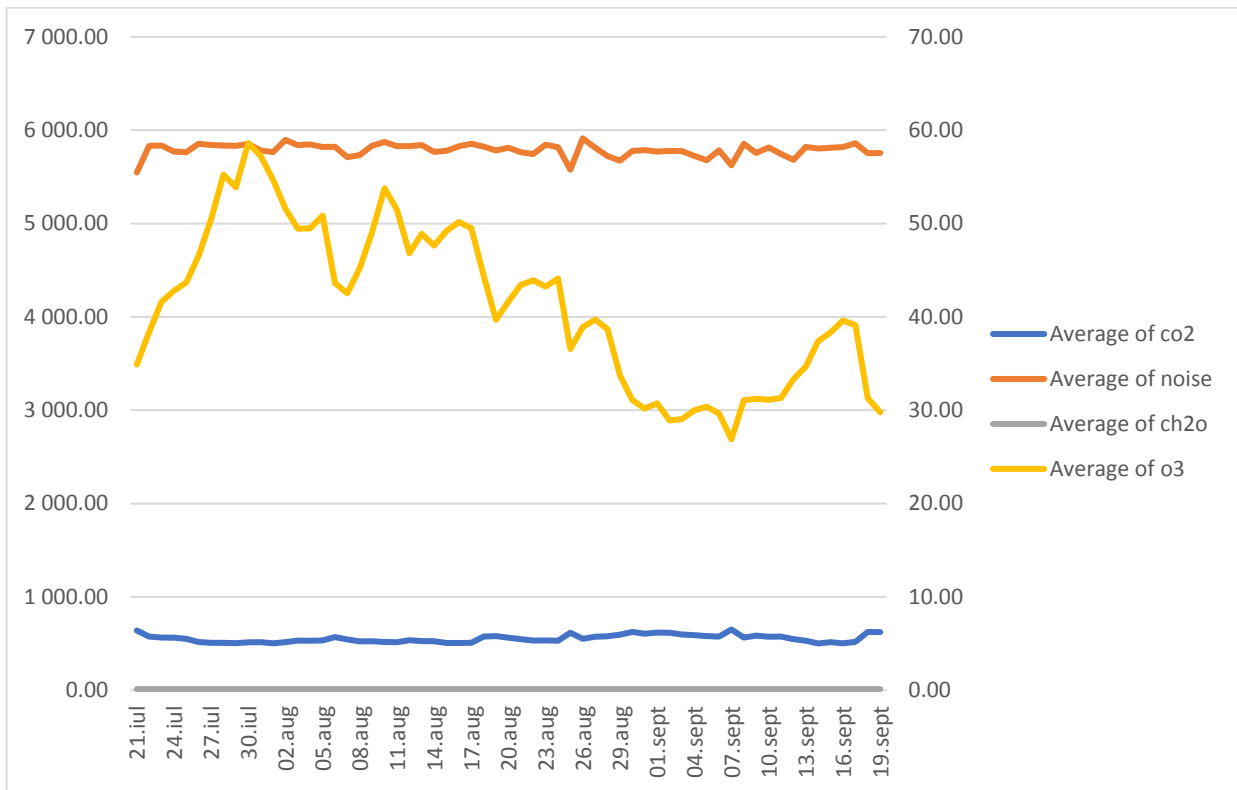
Параметърът CH<sub>2</sub>O е в слаба отрицателна корелация (-0,13) с параметъра O<sub>3</sub>.  
 Диаграми на корелация между параметрите CO<sub>2</sub>, шум, CH<sub>2</sub>O и O<sub>3</sub>:



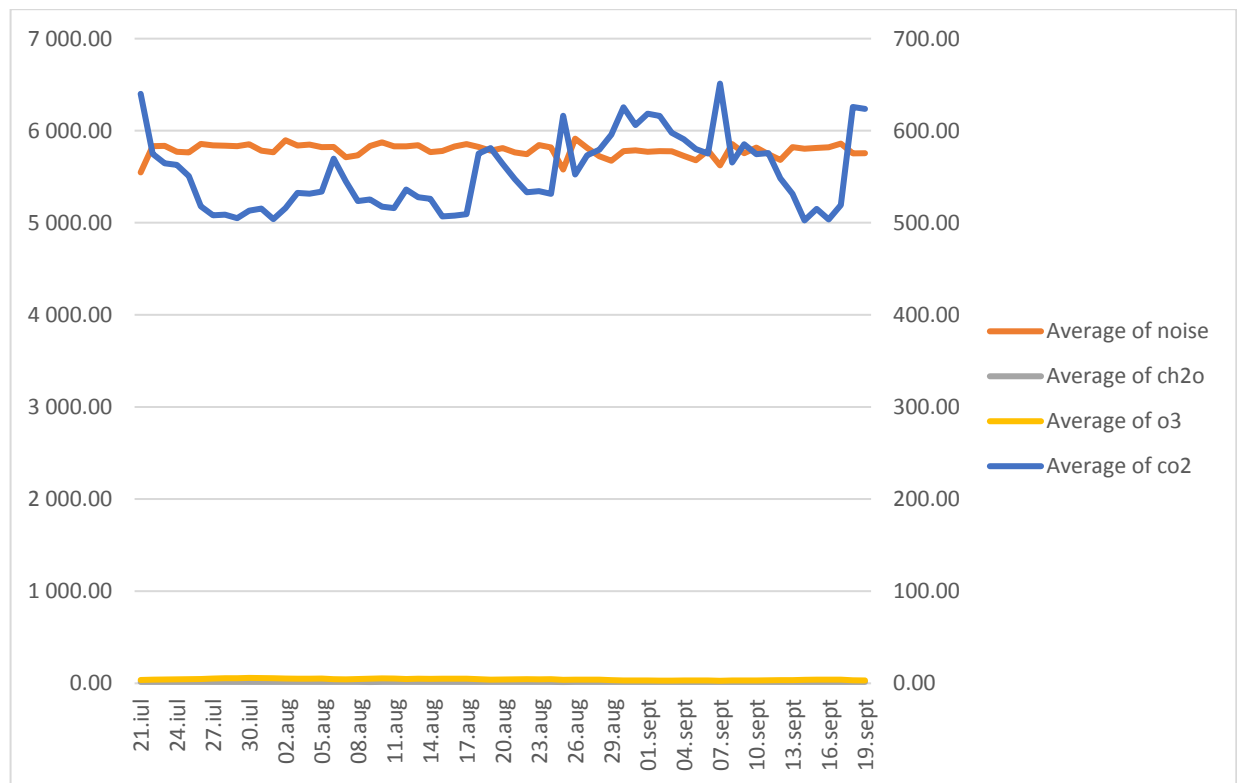
**Фигура 16.** Корелационна графика CO<sub>2</sub> – шум



**Фигура 17.** Корелационна графика Шум – CH<sub>2</sub>O

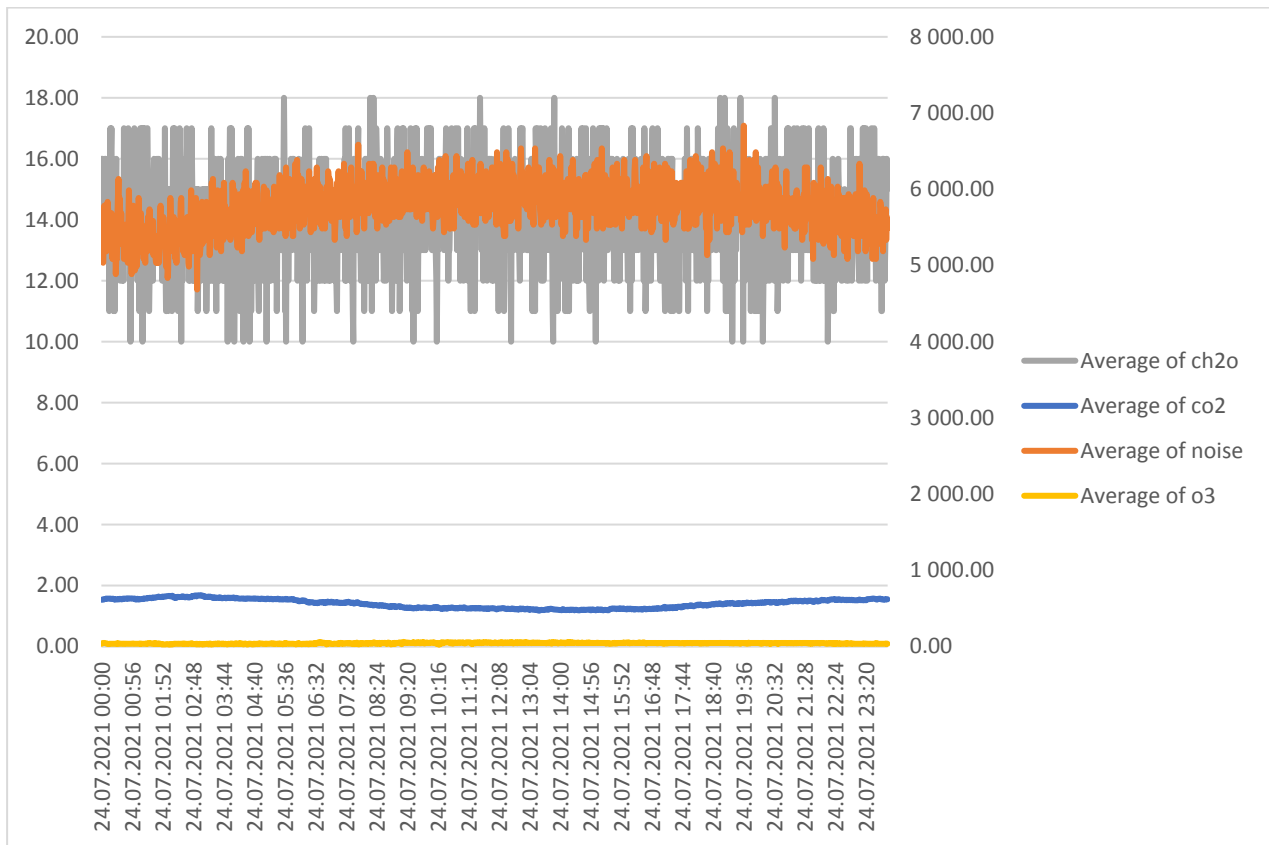


Фигура 18. Корелационна графика Шум – O<sub>3</sub>



Фигура 19. Корелационна графика Шум – CO<sub>2</sub>

Увеличавайки степента на детайлност на данните, получаваме следните корелационни диаграми между параметрите на CH<sub>2</sub>O и шума, между O<sub>3</sub> и шума и между CO<sub>2</sub> и шума:



Фигура 20. Корелационна диаграма с по-висока степен на детайлност CH<sub>2</sub>O и шума

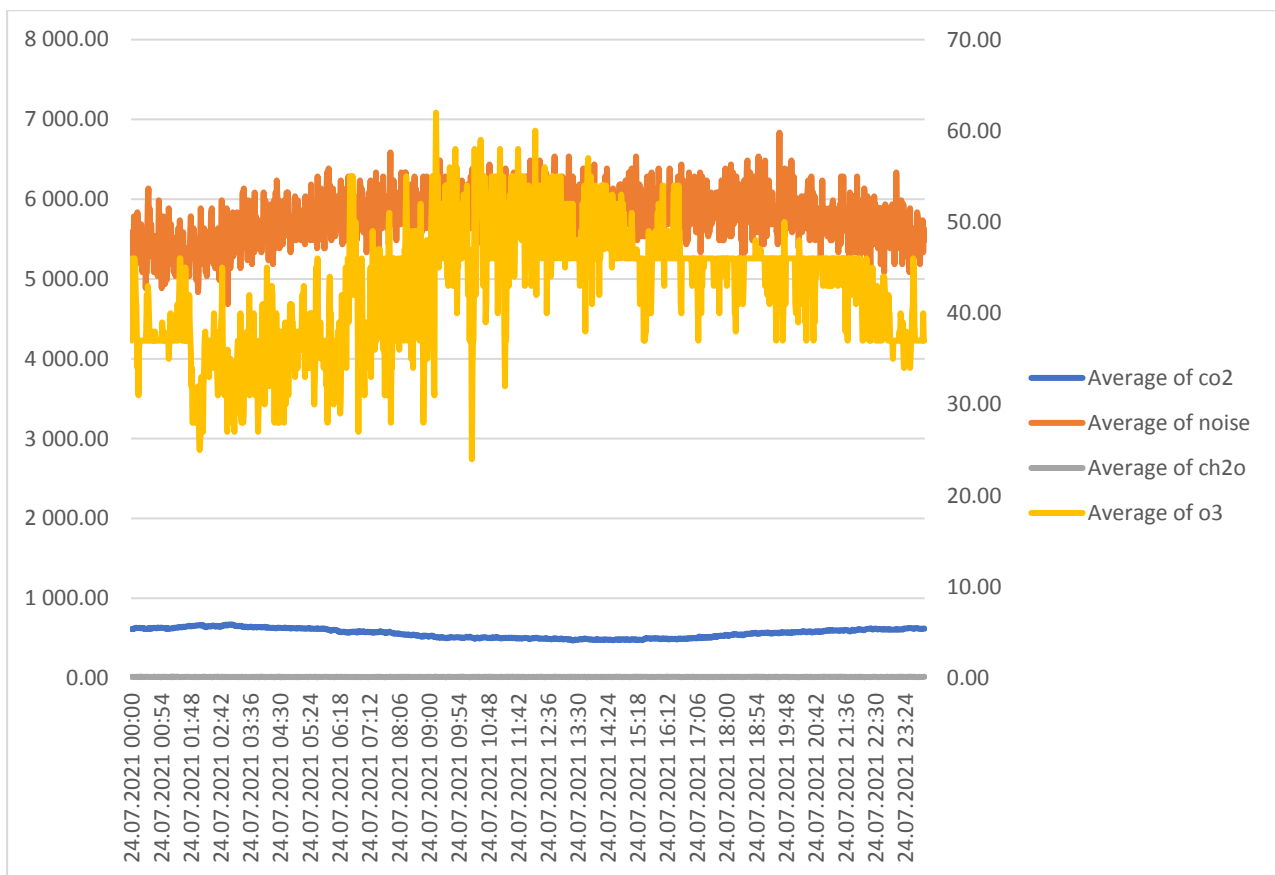


Figure 21. Корелационна диаграма с по-висока степен на детайлност O<sub>3</sub> и шума

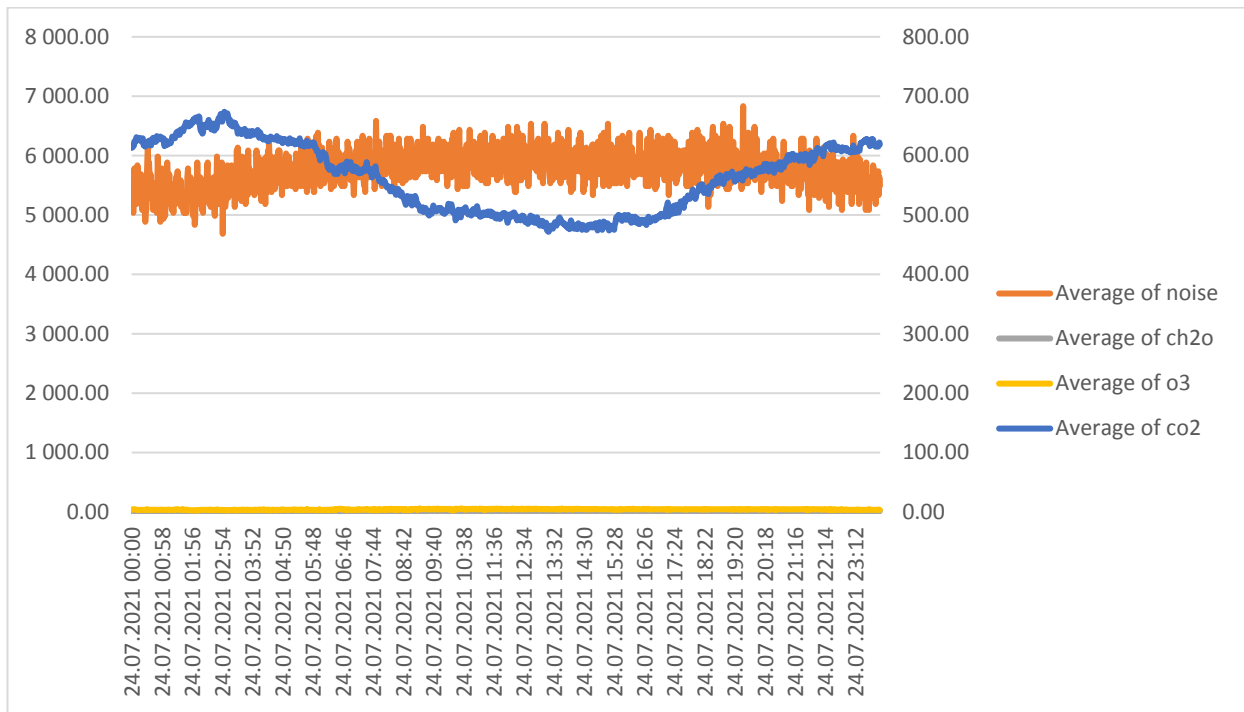
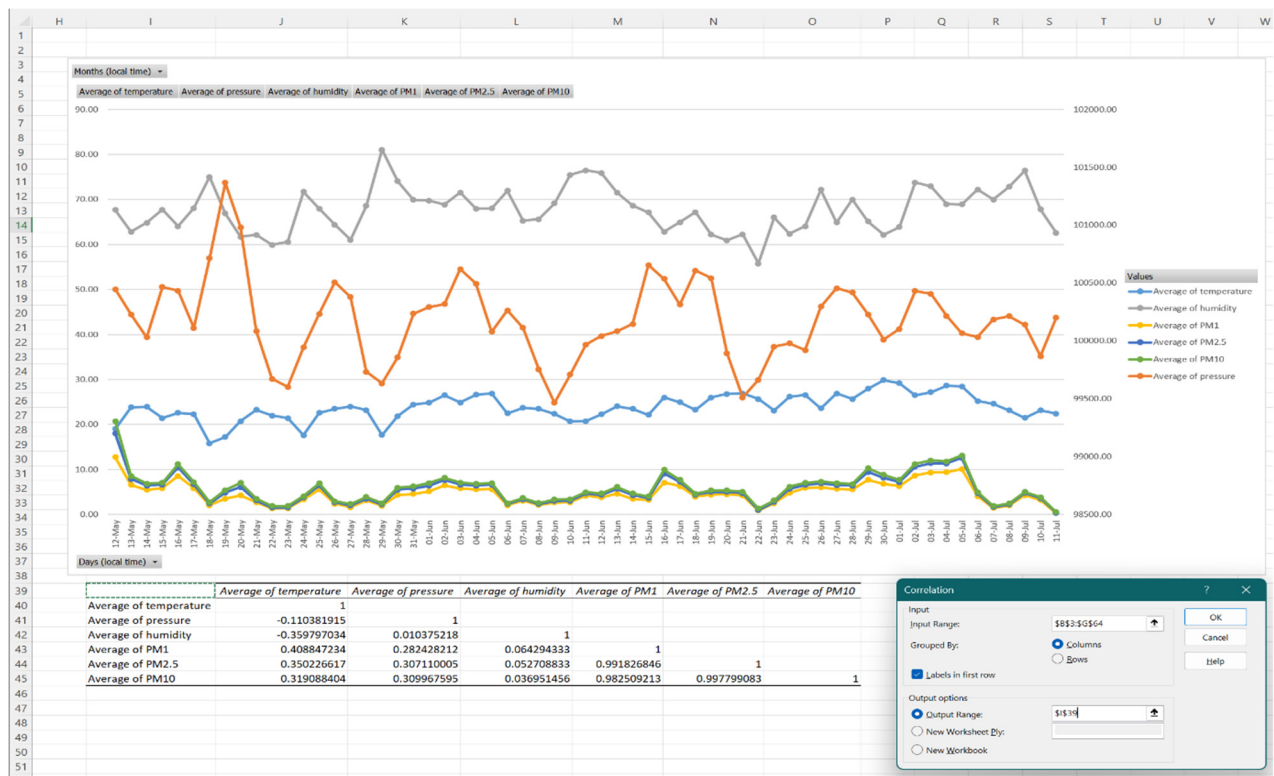


Figure 22. Корелационна диаграма с по-висока степен на детайлност ту CO<sub>2</sub> и шума

### 9.3. Задачи

Използвайки инструмента **Analysis ToolPak**, направете корелационен анализ между температурата, налягането, влажността и нивата на PM1, PM2.5 и PM10.

Резултатът трябва да се появи в следния вид:



Фигура 23. Корелационен анализ на параметрите на температурата, налягането, влажността и нивата на праховите частици PM1, PM2.5 и PM10

# ГЛАВА 10. СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ДАННИТЕ, ПРЕДОСТАВЕНИ ОТ СТАНЦИЯ ЗА МОНИТОРИНГ НА КАЧЕСТВОТО НА ВЪЗДУХА: СЛУЧАЯТ АДАНА

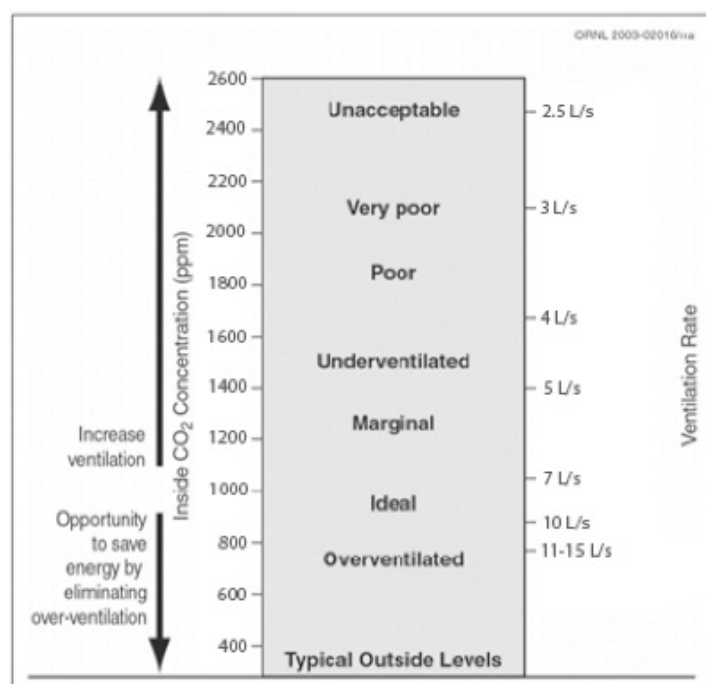
Тази глава е написана от Тюзче Пекдоган от Университета за наука и технологии Адана, Турция.

## 10.1. Теория

### 10.1.1. Описание на замърсяването на въздуха на открито

Замърсяването на въздуха на открито е сериозен проблем, който засяга здравето на хората по целия свят. Източниците на замърсяване на въздуха на открито са разнообразни. Естествените източници на замърсяване на въздуха на открито включват прах, полиени, горски пожари и др. Неприродните източници на замърсяване на въздуха на открито включват емисии от електроцентрали, фабрики, транспорт и строителни дейности.

Замърсяването на въздуха на открито често оказва сериозно влияние върху качеството на атмосферния въздух в градските райони. Високите нива на замърсители като прахови частици, азотни оксиди, серен диоксид и въглероден оксид могат да окажат значително влияние върху човешкото здраве. Тези замърсители могат да причинят респираторни заболявания, сърдечносъдови проблеми, разстройства и други усложнения на здравето.



Фигура 1. Връзката между CO<sub>2</sub> и степента на вентилация (превърната в единици SI) [4].

Количеството на CO<sub>2</sub> в атмосферата е около 0,03%. Според екологични фактори количеството на CO<sub>2</sub> във външния въздух е между 300 и 500 ppm [1]. Вдишвайки и концентрирайки се навътре, хората отделят CO<sub>2</sub>. Скоростта на човешкия метаболизъм, повлияна от размера и нивото на физическа активност, определя колко бързо се произвежда CO<sub>2</sub> в

тялото [2]. Въпреки че качеството на въздуха в сградите може да бъде повлияно от замърсяването на външния въздух, някои други фактори оказват неблагоприятно въздействие върху вътрешната среда и здравето на обитателите на сградата. Оптималните концентрации на въглероден диоксид (CO<sub>2</sub>) за качеството на въздуха в помещенията варират в различните страни, като общоприетото прогнозно ниво е 1000 ppm. Технологиите за отчитане на CO<sub>2</sub> често се използват с вентилационните системи за поддържане на здравословна вътрешна среда. Връзката между нивата на CO<sub>2</sub> и вентилацията е показана на фигура 1; тук се смята, че прилагането на контрол на търсенето въз основа на въглеродния диоксид може да спести енергия чрез по-точно удовлетворяване на изискванията за постъпване на въздух в сградите [3]. Концентрациите на CO<sub>2</sub>, вариращи от 400 до 500 ppm, са подходящи за външни условия. Дебит на вентилацията от около 7 L/s е достатъчен, за да се осигури добър приток на свеж въздух, дори ако нивото на CO<sub>2</sub> навън е 700 ppm. Според Американското дружество на инженерите по отопление, охлаждане и климатизация препоръчителната скорост на вентилация на човек в стандарт ASHRAE 62.1 е 7-10 L/sec [1].

В различни страни по света са определени максимални граници на CO<sub>2</sub> за замърсители, свързани с качеството на въздуха в помещенията. Допустимите гранични стойности на концентрацията на CO<sub>2</sub>, определени от ASHRAE и различни международни правителства [5] и агенции по стандартизация, са сравнени в таблица 1.

**Таблица 1.** Гранични стойности на професионална експозиция на CO<sub>2</sub> за избрани държави [3]

Държави	Агенция/Стандарт	Максимално ниво
САЩ	ASHRAE 62.1-2013 Appendix C	700 ppm above outside levels
	Occupational Safety and Health Administration (OSHA)	5,000 ppm
Австралия	Safe Work Australia; Workplace Exposure Standards for Airborne Contaminants (2011)	5,000 ppm
Канада	Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health	3,500 ppm
Германия	DIN 1946-6 DIN 1946-2	1,000 ppm (пропоръчана) и 1,500 ppm (горна граница)
Япония	Japan Society for Occupational Health (2004)	1,500 ppm
Швеция	Occupational Exposure Limit Values, AFS 2011:18	5,000 ppm
Великобритания	Health and Safety Commission	5,000 ppm
	The UK. Building Bulletin 101	1,500 ppm

Прахови частици или накратко ПЧ е терминът за малки частици във въздуха, които идват от различни източници, включително транспорт, промишленост и природни източници като прах и горски пожари. ПЧ се състоят от частици, които са с диаметър 10 микрона или по-малки (ПЧ10), 2.5 микрона или по-малки (ПЧ2.5) и 1 микрон (ПЧ1). Концентрациите на ФПЧ във външния въздух обикновено се измерват с помощта на устройство за наблюдение на частиците. Този инструмент използва филтър, който улавя и претегля пренасяните във въздуха частици, а данните се изразяват в микрограми РМ на кубичен метър въздух.

Максималните стойности за нивата на ПЧ се различават в отделните държави. Все пак Световната здравна организация препоръчва нивата на ФПЧ2.5 да не надвишават 10 микрограма на кубичен метър въздух средно годишно и 25 микрограма на кубичен метър въздух средно дневно [6]. Съгласно Националните стандарти за качество на атмосферния въздух (NAAQS) за РМ, Агенцията за опазване на околната среда на САЩ определя годишен стандарт от 10-12 микрограма на кубичен метър въздух и дневен стандарт от 35 микрограма на кубичен метър въздух за РМ2.5.

### 10.1.2. Изисквания за замърсяване на въздуха на открито

Организациите са предложили няколко разпоредби и стандарти за предотвратяване на замърсяването на въздуха на открито. Тези изисквания спомагат за опазване на общественото здраве и околната среда. Като цяло тези прозрачни, публично достъпни стандарти и разпоредби могат да помогнат да се гарантира, че въздухът, който дишаме, е безопасен и здравословен за всички.

В таблица 2 са показани случаите от 1990 г. до 2019 г., отнесени към замърсяването на външния въздух – от прахови частици в околната среда и озон – като рисков фактор. Според таблицата се вижда, че от 1990 г. насам смъртността, дължаща се на замърсяване на въздуха, се е увеличила в световен мащаб. Забелязва се, че този процент е особено висок в азиатските страни. В Непал, Йемен и Бангладеш смъртността вследствие на замърсяването на въздуха е сравнително висока.

В европейските страни се вижда, че смъртността вследствие на замърсяването на въздуха като цяло е намаляла, но все още представлява значителен проблем. Като причина за това положение могат да се посочат фактори като нивото на развитие, технологичната инфраструктура и политиките за опазване на околната среда. Например в страни като Швеция и Финландия смъртността поради замърсяване на въздуха е по-ниска, отколкото в други европейски страни. Прилагането на благоприятни за околната среда политики и развитието на технологичната инфраструктура в тези страни са били ефективни. Въпреки това в някои развити страни все още се наблюдава значително увеличение на смъртността поради замърсяване на въздуха. Например в страни като САЩ и Германия смъртността вследствие на замърсяването на въздуха все още е висока. В този случай прилагането на екологосъобразни политики и технологично развитие е особено важно в тези страни.

**Таблица 2.** Смъртността поради замърсяване на въздуха в световен мащаб от 1990 – 2019 [7].

Държави	1990	2019	Относителна промяна
Финландия	2.67%	0.73%	-73
Швеция	2.86%	0.81%	-72
Естония	3.54%	1.01%	-71
Норвегия	3.70%	1.10%	-70
Шотландия	4.39%	1.31%	-70
Ирландия	4.81%	1.68%	-65
Великобритания	6.41%	2.41%	-62
Швейцария	5.87%	2.34%	-60
Дания	6.18%	2.61%	-58
САЩ	4.81%	2.01%	-58
Германия	6.88%	3.05%	-56
Люксембург	5.37%	2.47%	-54
Нидерландия	6.80%	3.15%	-54
Канада	3.19%	1.50%	-53
Исландия	1.85%	0.90%	-51
Литва	6.38%	3.13%	-51
Белгия	6.68%	3.33%	-50
Австрия	6.28%	3.23%	-49
Франция	4.53%	2.41%	-47
Португалия	3.79%	1.99%	-47
Австралия	1.99%	1.10%	-45
Русия	7.22%	3.99%	-45
Нова Зеландия	1.70%	0.96%	-44
Чехия	9.82%	5.58%	-43
Италия	7.58%	4.29%	-43



Словения		7.16%	4.19%	-41
Словакия		10.34%	6.27%	-39
Испания		4.33%	2.68%	-38
Малта		6.64%	4.20%	-37
Малайзия		9.31%	6.08%	-35
Украйна		8.85%	5.81%	-34
Гърция		7.35%	4.89%	-33
Израел		7.71%	5.17%	-33
Хърватия		8.50%	5.98%	-30
Сингапур		8.34%	5.82%	-30
България		10.05%	7.13%	-29
Полша		9.60%	6.78%	-29
Унгария		7.73%	5.57%	-28
Гренландия		1.95%	1.45%	-26
Румъния		7.36%	5.43%	-26
Кипър		6.69%	5.08%	-24
Молдова		6.56%	5.06%	-23
Бахами		4.52%	3.63%	-20
Черна гора		10.01%	7.99%	-20
Аржентина		4.52%	3.73%	-17
Япония		3.70%	3.07%	-17
Куба		6.59%	5.54%	-16
Мексико		6.18%	5.34%	-14
Вирджински о-ви		2.62%	2.29%	-13
Катар		17.05%	15.14%	-11
Бахрейн		16.42%	14.86%	-10
Сърбия		9.50%	8.58%	-10
Южна Корея		7.91%	7.12%	-10
Северна Македония		11.55%	10.68%	-8
Обединени арабски емирства		13.61%	12.56%	-8
Грузия		6.88%	6.45%	-6
Йордания		10.45%	9.86%	-6
Бразилия		3.47%	3.31%	-5
Панама		3.58%	3.41%	-5
Чили		5.17%	5.15%	0
Монако		3.09%	3.13%	1
Тайван		6.10%	6.37%	4
Албания		6.17%	6.52%	6
Сирия		11.04%	11.65%	6
Венецуела		6.18%	6.65%	8
Колумбия		4.86%	5.35%	10
Туркменистан		9.78%	10.87%	11
Коста Рика		3.54%	3.97%	12
ЮАР		4.85%	5.42%	12
Казахстан		6.70%	7.70%	15
Турция		8.29%	9.51%	15
Армения		9.67%	11.22%	16
Тайланд		5.46%	6.51%	19
Египет		13.04%	15.70%	20
Иран		9.10%	11.11%	22
Перу		4.83%	5.94%	23
Доминика		3.50%	4.33%	24
Алжир		8.65%	10.77%	25
Парагвай		2.64%	3.33%	26
Ливан		7.75%	9.87%	27
Киргистан		6.45%	8.39%	30
Ирак		11.48%	15.01%	31

Босна и Херцеговина		7.19%	9.47%	32
Либия		8.23%	11.09%	35
Филипини		3.56%	5.08%	43
Азърбайджан		6.91%	10.06%	46
<b>За целия свят</b>		<b>5.31%</b>	<b>7.80%</b>	<b>47</b>
Узбекистан		8.66%	12.99%	50
Папуа Нова Гвинея		1.27%	1.94%	53
Ямайка		3.13%	5.00%	60
Китай		8.52%	13.74%	61
Малдиви		2.46%	4.08%	66
Шри Ланка		3.14%	5.38%	71
Северна Корея		5.95%	10.53%	77
Палестина		6.31%	11.45%	81
Нигер		1.14%	2.08%	82
Индонезия		3.13%	6.11%	95
Саудитска Арабия		7.45%	14.85%	99
Сенегал		1.97%	4.23%	115
Афганистан		1.99%	4.31%	117
Кения		1.04%	2.36%	127
Гвинея-Бисау		1.37%	3.14%	129
Фиджи		1.82%	4.20%	131
Виетнам		2.55%	6.06%	138
Гана		3.02%	7.22%	139
Мали		0.86%	2.06%	140
Мадагаскар		0.70%	1.72%	146
Мароко		4.76%	11.75%	147
Камбоджа		1.37%	3.45%	152
Доминиканска република		2.16%	5.46%	153
Мианмар		2.51%	6.38%	154
Нигерия		2.07%	5.40%	161
Лаос		1.37%	3.59%	162
Индия		4.74%	12.57%	165
Пакистан		3.46%	9.42%	172
Замбия		1.11%	3.03%	173
Мозмбик		0.35%	0.96%	174
Конго		2.22%	6.11%	175
Танзания		0.72%	2.07%	187
Непал		4.18%	13.43%	221
Джибути		2.15%	6.97%	224
Бангладеш		2.78%	9.89%	256
Етиопия		0.59%	2.12%	259
Йемен		2.14%	8.00%	274
Бутан		2.14%	8.34%	290
Уганда		0.60%	2.51%	318
Судан		2.24%	9.75%	335

Изискванията за качеството на външния въздух варират в различните страни и обикновено се основават на измерените замърсители. Всяка страна е определила свои ограничения и стандарти за качеството на въздуха на открито. Вижда се, че различните страни имат различни гранични стойности за замърсителите на въздуха в зависимост от географското си положение, топографията, климата и икономическите дейности. Стандартите според избраните държави са дадени по-долу.

### САЩ

Националните стандарти за качество на атмосферния въздух (NAAQS) на Агенцията за опазване на околната среда на САЩ (EPA) [8] определят стандарти за шест често срещани замърсители на въздуха на открито, включително PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, озон и олово.

- Озон: 70 части на милиард (ppb) над 8-часовата средна стойност,
- Фини прахови частици (PM<sub>2,5</sub>): 12 микрограма на кубичен метър (µg/m<sup>3</sup>) над средногодишната стойност,
- Въглероден оксид (CO): 9 частици на милион (ppm) за 8-часова средна стойност,
- Серен диоксид (SO<sub>2</sub>): 75 ppb в едночасова средна стойност,
- Азотен диоксид (NO<sub>2</sub>): 53 ppb над средната годишна стойност

### Европейски съюз

Европейският съюз е разработил стандарти за качество на атмосферния въздух, Директива 2008/50/ЕО за качеството на атмосферния въздух и за по-чист въздух в Европа [9], които са задължителни за всички държави членки. Тези пределно допустими стойности имат за цел да осигурят добро качество на въздуха и да защитят човешкото здраве. Основните измервани замърсители включват PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и бензен.

- Озон: 120 µg/m<sup>3</sup> за максимален период от 8 часа,
- Фини прахови частици (PM<sub>2.5</sub>): 25 µg/m<sup>3</sup> над средногодишната стойност,
- Въглероден оксид (CO): 10 ppm над средната стойност за 8 часа,
- Серен диоксид (SO<sub>2</sub>): 350 µg/m<sup>3</sup> за 24 часа,
- Азотен диоксид (NO<sub>2</sub>): 40 µg/m<sup>3</sup> над средната годишна стойност

### Китай

Съгласно стандартите за качество на атмосферния въздух (Национален стандарт GB 3095-2012) [10] Китай е определил гранични стойности за замърсителите на външния въздух, включително PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и CO.

- Озон: 160 µg/m<sup>3</sup> за 8-часова средна стойност,
- фини прахови частици (PM<sub>2.5</sub>): 35 µg/m<sup>3</sup> над средната годишна стойност,
- Въглероден оксид (CO): 20 ppm средно за 8 часа,
- Серен диоксид (SO<sub>2</sub>): 150 µg/m<sup>3</sup> за 24 часа,
- Азотен диоксид (NO<sub>2</sub>): 40 µg/m<sup>3</sup> над средната годишна стойност

### Индия

Централният съвет за контрол на замърсяването (Central Pollution Control Board – CPCB) [11] определя стандартите за качество на въздуха в Индия заедно с регулаторните органи на Централния съвет за контрол на замърсяването (Central Pollution Control Board – CPCB), Министерството на околната среда и горите (Ministry of Environment and Forest – MoEF) и Бюрото за индийски стандарти (Bureau of Indian Standards – BIS). CPCB е определил пределно допустими стойности за PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и олово.

- Озон: 100 µg/m<sup>3</sup> за 8-часова средна стойност,
- фини прахови частици (PM<sub>2.5</sub>): 40 µg/m<sup>3</sup> над средната годишна стойност,
- Въглероден оксид (CO): 4 ppm над 8-часовата средна стойност,
- Серен диоксид (SO<sub>2</sub>): 80 µg/m<sup>3</sup> за 24 часа,
- Азотен диоксид (NO<sub>2</sub>): 80 µg/m<sup>3</sup> над средната годишна стойност

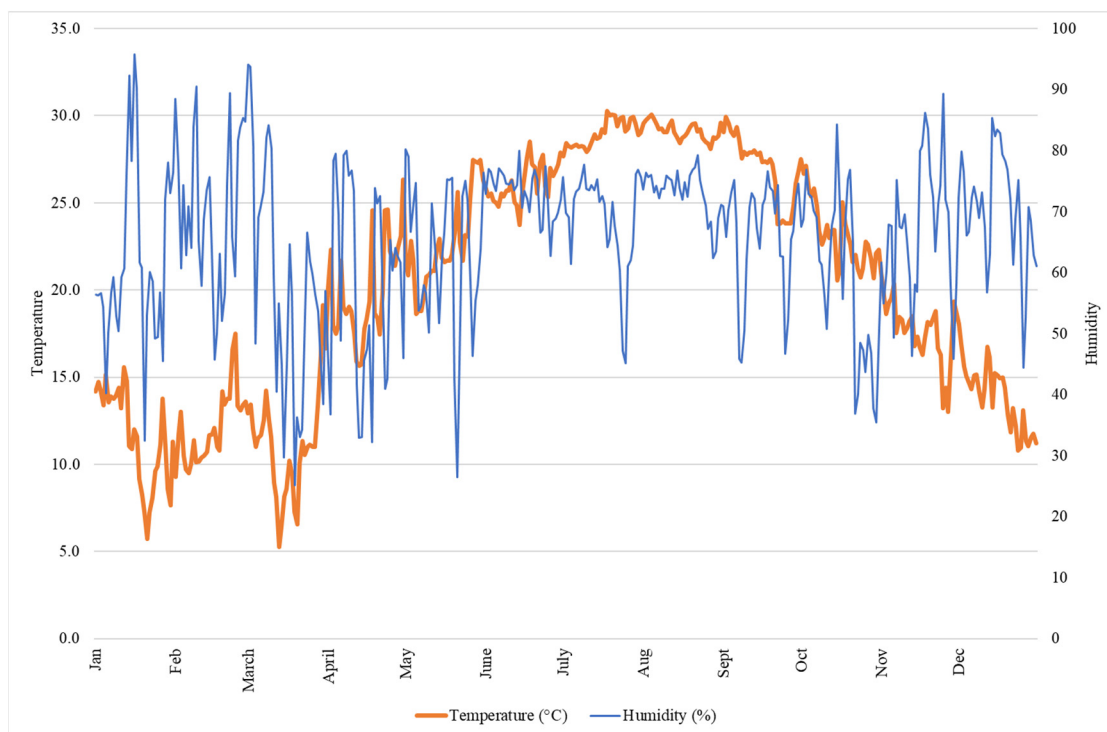
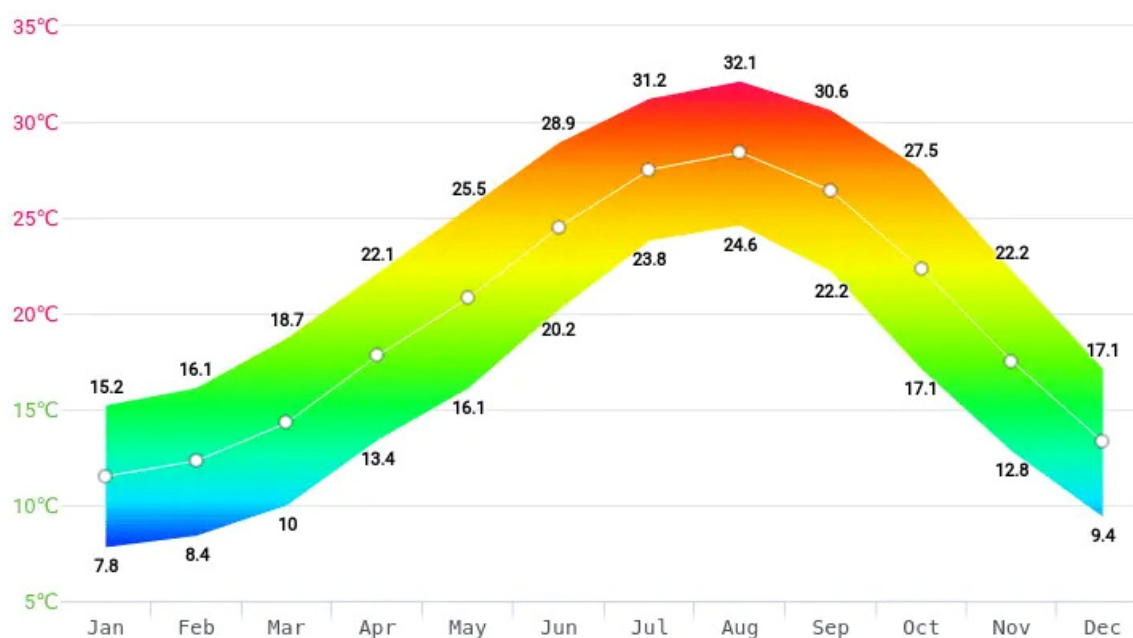
Тези ограничения и стандарти могат да варират в зависимост от региона или града във всяка държава. Изискванията за качеството на атмосферния въздух имат за цел да защитят общественото здраве и околната среда.

## 10.2. Пример за работа с набор от данни

### 10.2.1. Климатични условия

Сензорите в Адана имат средиземноморски климат, класифициран по системата за класификация на климата на Кьопен. В региона се наблюдават дълги и горещи лета

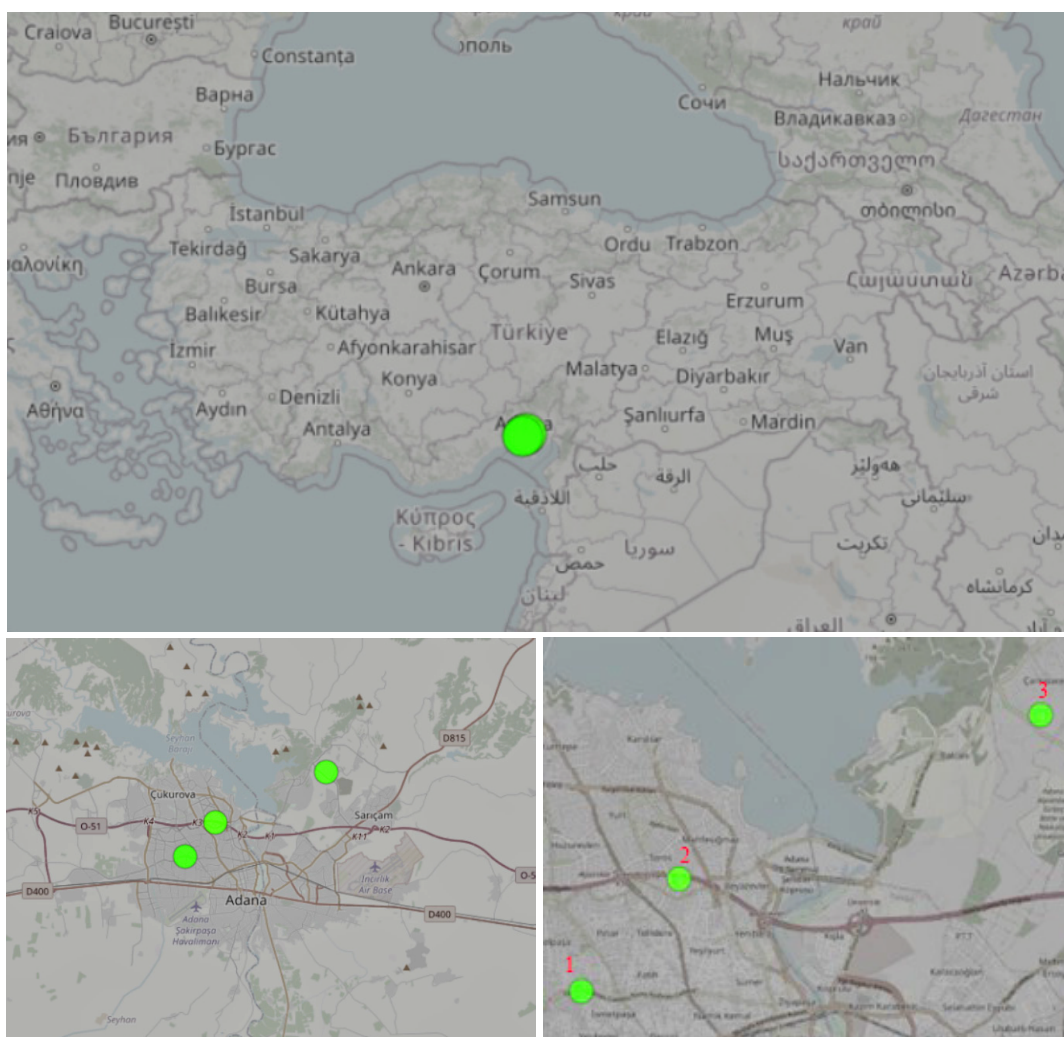
и кратки и меки зими. Средната температура на сухия термометър в Адана варира между 18.1°C и 28.7°C през цялата година (фиг. 2). През лятото температурите обикновено достигат своя връх в края на юли и август, като дневните температури надхвърлят 35°C. От друга страна, зимните температури обикновено се колебаят около 10 – 15°C. Средната месечна относителна влажност в Адана обикновено варира от 49% през август до 81% през януари. Замърсяването на въздуха е често срещан проблем в гъсто населените райони. В резултат на това Адана има средиземноморски климат, който се характеризира с дълги и горещи лета и кратки, меки зими. В района има много летни дни, умерено замърсяване на въздуха и сравнително ниска влажност.



Фигура 2. Средни месечни температури в Адана/Турция

## 10.2.2. Местоположение на сензорите

На следващите фигури е показано географското разположение на три измервателни уреда за замърсяване на въздуха в град Адана, разположен в югоизточната част на Турция, известен с оживените си улици и промишлени дейности (фиг. 3). Тези иновативни научни устройства са въоръжени с най-съвременна технология „plug-and-play“, специално разработена за измерване на атмосферните частици PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub> и PM<sub>10</sub> и за наблюдение на въглеродния диоксид, температурата и влажността на въздуха. Тези усъвършенствани станции за мониторинг на качеството на въздуха имат за цел да предоставят практически незабавни, точни и надеждни данни за качеството на въздуха в града, като работят безпроблемно чрез инсталиране на Wi-Fi връзка. Първият сензор е разположен на 20FD62 (1), на 37.011 географска ширина и 35.280 географска дължина, в района на Юрегир. Сензорът с код 20FD2908 (2) се намира в апартамент над 37.0320 географска ширина и 35.302 географска дължина в района на Karaisali в град Адана. Последният сензор, разположен с код 20FD51B8 (3), на 37.061 географска ширина и 35.384 географска дължина, се намира в района на Сейхан.



Фигура 3. Разположението на сензорите за замърсяване на въздуха

### 10.2.3. Събиране на данни

За тези измервания е използван монитор URAD (Urban Network of Air Quality Devices). Мониторът URAD е преносимо устройство за мониторинг на качеството на въздуха, предназначено за измерване на нивата на замърсяване на въздуха в градските райони. Той представлява малък сензор, подобен на кутия, монтиран на стена или поставен върху плоска повърхност. Сензорите, разположени тук, са на балконите на някои апартаменти на различни места по различно време и са направени измервания. Идентифицираните градски райони включват търговски, жилищни и работни зони, като всяка от тях има различна гъстота на населението и съответно замърсяване на околната среда.

Използването на сензора е много просто. Най-основното изискване, за да може да се използва сензорът, е да се свърже към Wi-Fi мрежа. По този начин устройството събира данни за качеството на въздуха и ги изпраща в облака, до който може да се получи достъп чрез мобилно приложение или уеб-базирано табло за управление.

Сензорът използва комбинация от сензори за събиране на данни. Той включва сензор за твърди частици (PM), сензор за въглероден диоксид (CO<sub>2</sub>), температурен сензор и сензор за влажност. Тези сензори са предназначени за откриване и измерване на нивата на различни замърсители на въздуха в околната среда.

Мониторът URAD се състои от няколко компонента: сензор за замърсяване на въздуха, сензори, микропроцесор, Wi-Fi модул и захранване. Предаването на данните от сензорите се осъществява на 3 етапа. Сензорите събират данни за нивата на замърсителите във въздуха, след което тези данни се обработват от микропроцесора и се изпращат към облака чрез Wi-Fi модула.

На фигури 4, 5 и 6 са показани получените резултати от сензори 1-2-3, съответно отбелязани на картата. Проектът World Air Quality Index (Световен индекс на качеството на въздуха) поддържа уебсайт за достъп до резултатите от измервателните уреди за замърсяване на въздуха в целия свят. Този уебсайт разполага с интерфейс, достъпен в целия свят, за незабавно отчитане на стойностите на качеството на въздуха. Той създава графика от деня на започване на измерването и представя резултатите. Графиките, показани тук, са получени от този уебсайт. Тези таблици са взети от сайта [aqi.cn.org](http://aqi.cn.org), създаден в рамките на проекта „Световен индекс на качеството на въздуха“, и в тях може да се получи достъп до стойностите на активните в цял свят сензори. В Адана има общо 11 сензора, а мониторът uRAD предоставя три, направени от ученици по време на лятното им училище.

Конкретните нива на качество на въздуха, показани с цветове в графиките, са описани в таблица 3. Стойността, посочена в тъмнозелено, тук е между 0-50 и качеството на въздуха се определя като добро. Умерената стойност е между 51 и 100, а качеството на въздуха е приемливо. От друга страна, 101-150 се описва като вредно за чувствителните групи, а 151-200 – като нездравословно. Между 201-300 се определя като много нездравословно и се наблюдават ефекти върху здравето. Ако то е 300 и повече, това е опасно ниво. Тази скала е определена в съответствие със стандарта на US-EPA от 2016 г., а определенията на стойностите, измерени от трите споделени тук сензора, са в цветна таблица 3 [12].

Сензор S1 е извършвал измервания в продължение на 122 дни и измерванията продължават. Тук стойността на относителната влажност е 55,87% средно за 122 дни, с минимална стойност 43,67% и максимална стойност 67,47%. Измерването е започнало през зимните месеци за Адана, така че средната температура е 14,21°C, минималната температура е 9.9°C, а максималната температура е 19.2°C. Когато се разглеждат

стойностите на PM1, най-високата стойност е 39.4 в този регион, а най-ниската стойност на PM1 е 3.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Средната стойност е 12.45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Средната стойност на ФПЧ10 е 22.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , но в някои дни тя достига много високи стойности, като максималната е 85.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , а минималната – 6,25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Докато средната стойност на PM2.5 е добра, максималната е 75, което е приемлива, но умерена стойност. Освен това най-ниската стойност е 5.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

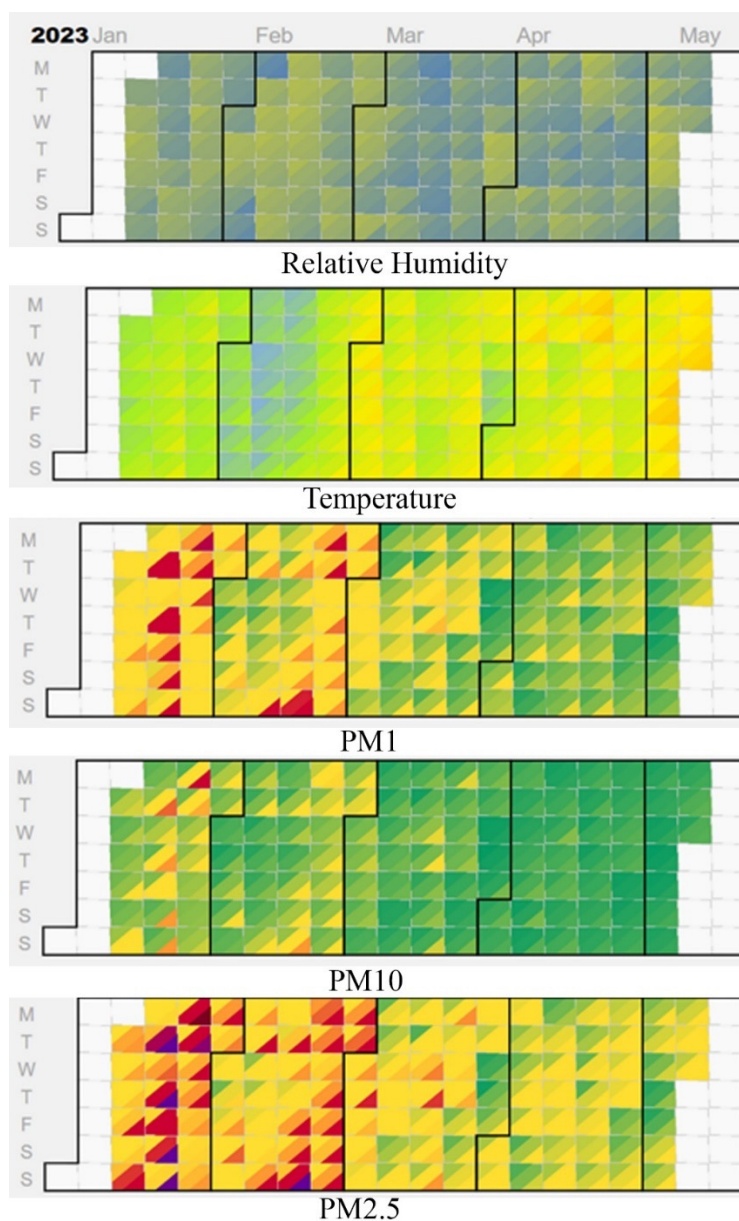
**Таблица 3.** Скала на индекса за качество на въздуха и цветова легенда [12]

AQI	Ниво на замърсяване на въздуха	Последици за здравето	Предупреждение (за PM2.5)
0 – 50	Добро	Качеството на въздуха се счита за задоволително и замърсяването на въздуха представлява малък или никакъв риск.	Няма
51 – 100	Умерено	Качеството на въздуха е приемливо; за някои замърсители обаче може да съществува умерена загриженост за здравето на много малък брой хора, които са необичайно чувствителни към замърсяването на въздуха.	Активните деца, възрастните и хората с респираторни заболявания, като астма, трябва да ограничат продължителното натоварване на открито.
101 – 150	Нездравословно за чувствителни групи	Членовете на чувствителните групи могат да изпитат ефекти върху здравето. Обществеността няма вероятност да бъде засегната.	Активните деца, възрастните и хората с респираторни заболявания, като астма, трябва да ограничат продължителното натоварване на открито.
151 – 200	Нездравословно	Всеки може да започне да изпитва ефекти върху здравето; членовете на чувствителните групи могат да изпитат по-сериозни ефекти върху здравето.	Активните деца и възрастните, както и хората с респираторни заболявания, като астма, трябва да избягват продължително натоварване на открито; всички останали, особено децата, трябва да ограничат продължителното натоварване на открито.
201 – 300	Силно нездравословно	Здравни предупреждения за спешни състояния. По-вероятно е да бъде засегнато цялото население.	Активните деца, възрастните и хората с респираторни заболявания, като астма, трябва да избягват всякакво натоварване на открито; всички останали, особено децата, трябва да ограничат натоварването на открито.
300+	Опасно	Предупреждение за здравето: всеки може да изпита по-сериозни последици за здравето	Всеки трябва да избягва всякакви натоварвания на открито.

Сензор S2 извършва измервания в продължение на 73 дни и измерванията продължават. Тук стойността на относителната влажност е 47.26% средно за 73 дни, с минимална стойност 36.1 и максимална стойност 57.30%. От друга страна, стойността на температурата е средно 17.6°C, минималната температура е 13.3°C, а максималната температура е 21,2 °C за 73-те дни на измерване. Когато се разглеждат стойностите на PM1, най-

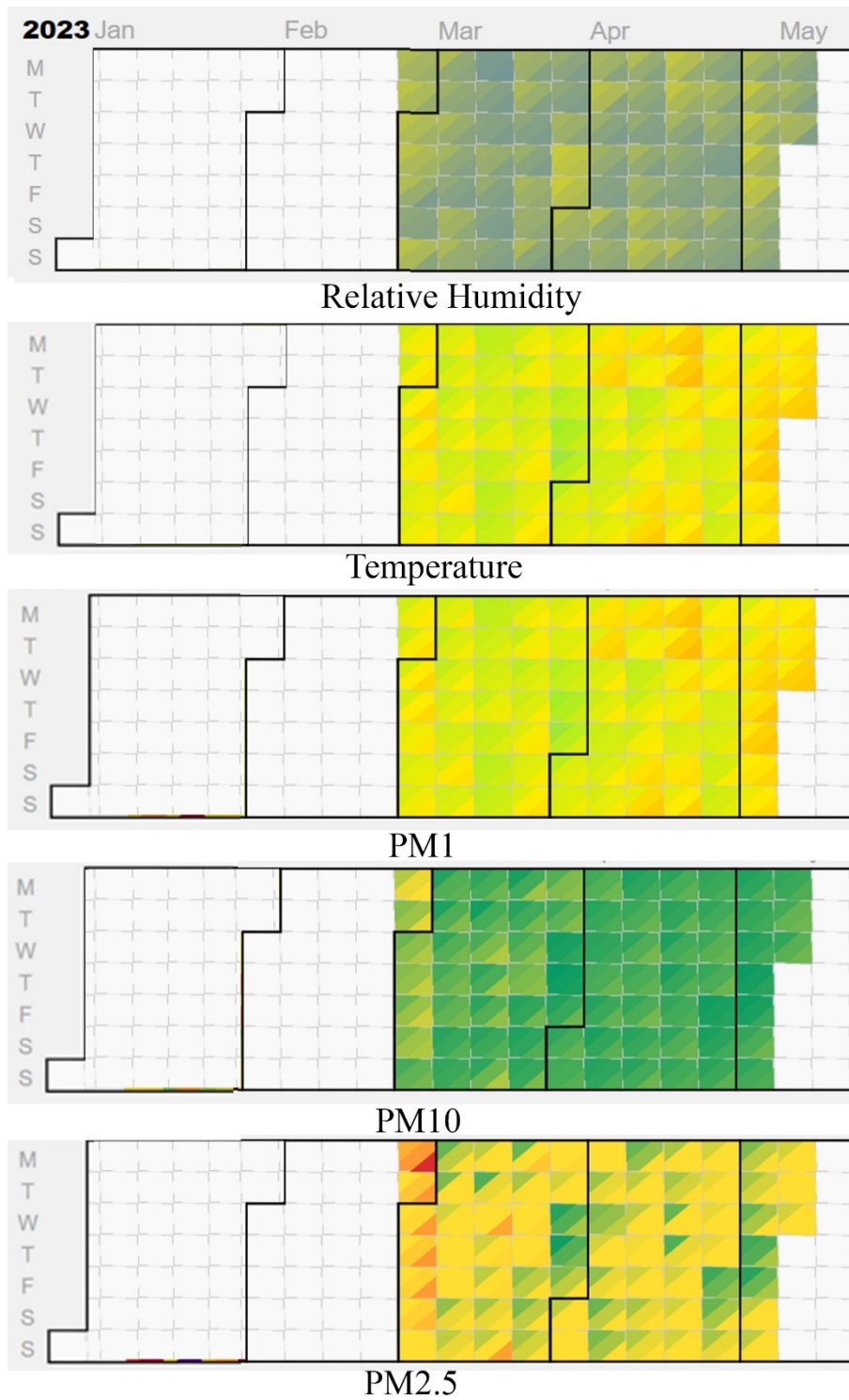
високата стойност е  $52,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  в този регион, а най-ниската стойност на PM1 е средно  $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Средната стойност е  $14.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Средната стойност на ФПЧ10 е  $25.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , но в някои дни тя достига много високи стойности, като максималната е  $88.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , а минималната –  $6.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Въпреки че средната стойност на PM2.5 е добра, се наблюдава максимална стойност от  $36.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Освен това най-ниската стойност е  $4.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Според резултатите от сензор S3, който е измервал в продължение на 134 дни, средната стойност на относителната влажност е 52.70%, минималната стойност е 39.35%, а максималната стойност е 46.14%. Средната температура е  $18.9^\circ\text{C}$ , минималната температура е  $15.3^\circ\text{C}$ , а максималната е  $24.4^\circ\text{C}$ . Когато се разглеждат стойностите на PM1, най-високата стойност е  $15.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  в този регион, докато най-ниската стойност на PM1 е средно  $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Средната стойност е  $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Стойността на ФПЧ10 е средно  $10.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , като минималната стойност е  $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , а максималната –  $29.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Докато стойността на PM2.5 е средно на добри нива, се наблюдава максимална стойност от  $26.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Освен това най-ниската стойност е  $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

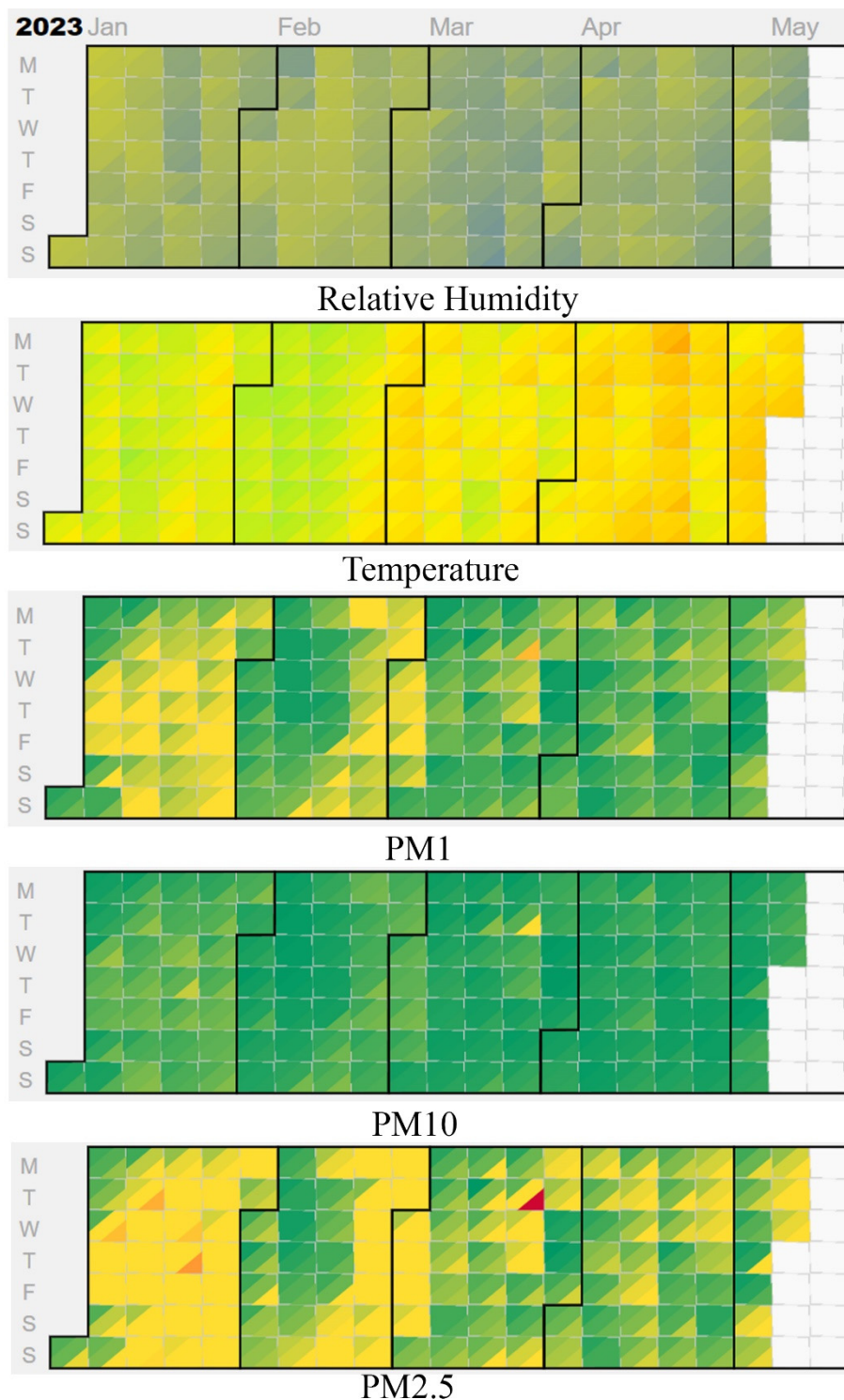


**Фигура 4.** Резултати от измерванията на сензор S1 за 122 дни





**Фигура 5.** Резултати от измерванията на сензор S2 за 73 дни



**Фигура 6.** Резултати от измерванията на сензор S3 за 134 дни

### 10.3. Анализ на данни

Софтуерът SPSS е статистическа програма, която се използва в академичните изследвания и при анализа на данни в промишлеността. SPSS може да се използва за събиране, анализ, визуализация и отчитане на данни. Тази програма също така поддържа методи за извличане на данни, като клъстерен анализ, класификация, регресия и консолидационен анализ.

Резултатите от анализа ще бъдат споделени, като се покаже как получените данни в това проучване ще бъдат обработени в програмата SPSS. По този начин настоящият доклад показва как получените данни могат да бъдат анализирани от статистическата програма SPSS и какви анализи могат да бъдат направени.

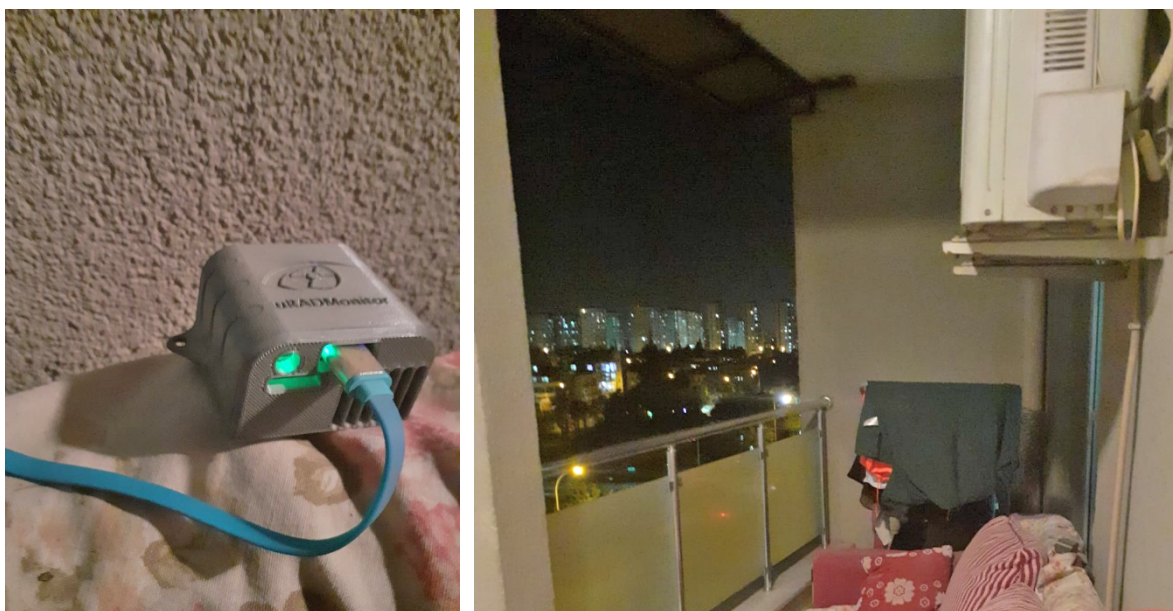
В това ръководство е обяснено как да се използва програмата SPSS стъпка по стъпка. Освен това тази програма може да се използва в разделите за събиране, анализ, визуализация и докладване на данните.

### 10.3.1. Събиране на данни

Данните, анализирани по-долу, са създадени с помощта на сензорите за РМ. Сензорът за ФПЧ е устройство, което измерва качеството на въздуха и работи свързано с интернет заедно със захранващия кабел. Сензорът за РМ измерва качеството на въздуха, като следва стъпките по-долу.

1. Извадете РМ сензора от кутията и го включете към захранването.
2. Трябва да се коригират настройките на Wi-Fi, за да се свърже сензорът с интернет. За тази цел отидете на страницата за настройки, като използвате собствената Wi-Fi мрежа на устройството и свържете устройството към домашната мрежа.
3. Изберете подходящо място за използване на сензора РМ. Уверете се, че устройството не е покрито и се намира на открито.
4. Устройството за РМ запамятава данните и автоматично ги прехвърля на уебсайта. Тези данни са достъпни чрез уеб интерфейса на uRADmonitor.

На фигура 7 е показано работното състояние на сензор 1. Сензорът е разположен на балкона на апартамент в Адана/Турция и винаги е бил използван на същото място за предаване на данни. Зелената светлина показва, че трансферът на данни е в ход.



Фигура 7. РМ Сензор S1

### 10.3.2. Изпращане на данни

Софтуерната програма SPSS предлага лесно използване на процеса на зареждане на данни. Една от най-съществените характеристики на тази програма е, че тя поддържа различни файлови формати. Възможно е в програмата да се отворят файлове



**Таблица 4.** Примерни данни от сензор S1, сензор S2 и сензор S3

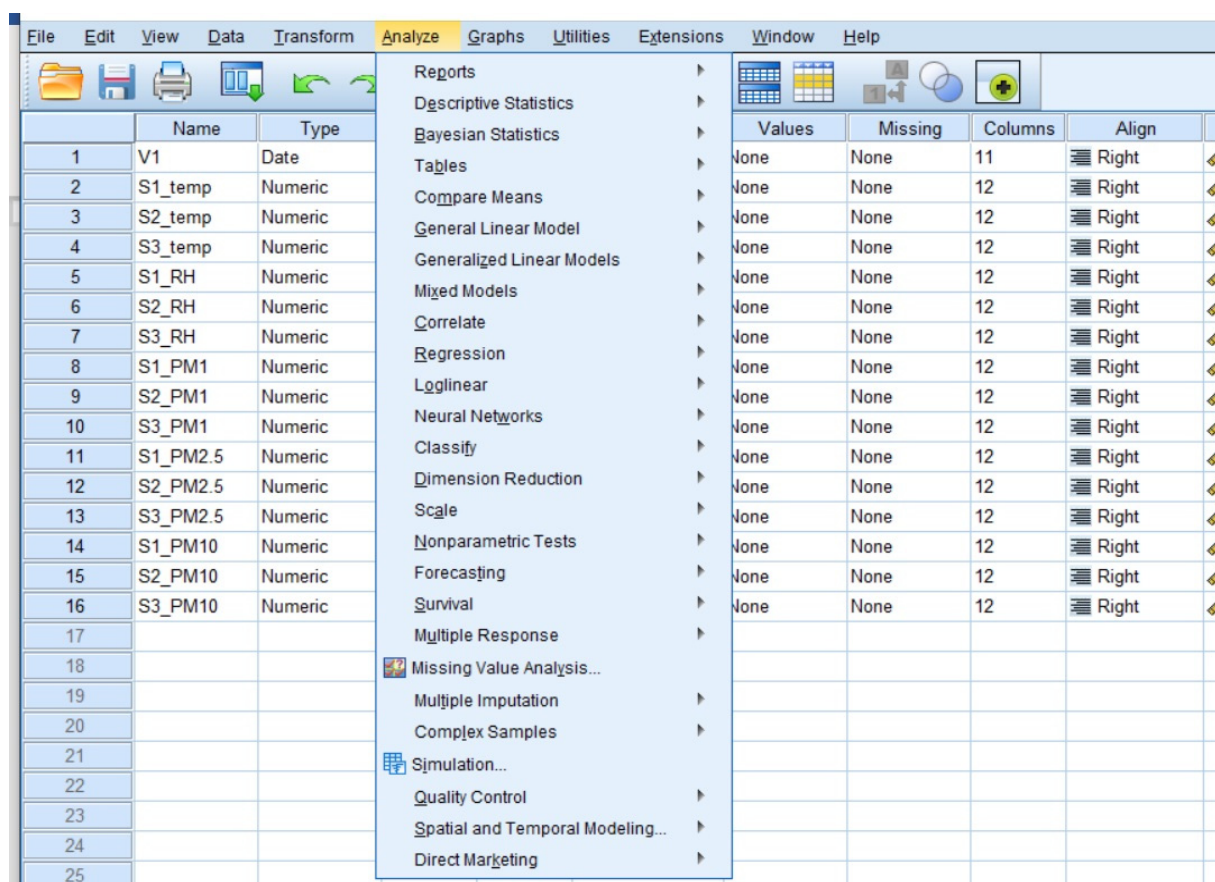
	S1_temp	S2_temp	S3_temp	S1_RH	S2_RH	S3_RH	S1_PM1	S2_PM1	S3_PM1	S1_PM2.5	S2_PM2.5	S3_PM2.5	S1_PM10	S2_PM10	S3_PM10
1.4.23 0:00	7.56	10.01	14.86	60	49	42	10	11	5	16	18	8	16	21	8
1.4.23 0:01	7.53	10.09	14.9	59.5	48.5	41.5	9	13	6	15	21	8	15	24	9
1.4.23 0:02	7.31	10.15	14.95	60	48.5	41.5	8	12	6	11	21	9	12	24	9
1.4.23 0:03	7.37	10.02	14.98	60	48.5	41.5	9	11	5	16	21	9	17	25	9
1.4.23 0:04	7.6	9.92	15	59.5	48.5	41.5	8	13	6	14	21	8	14	28	8
1.4.23 0:05	7.46	10	15.02	60	48.5	41.5	11	13	6	17	22	8	18	25	9
1.4.23 0:06	7.53	10.04	15.02	59.5	48.5	41.5	9	13	6	16	21	8	16	26	8
1.4.23 0:07	7.69	9.99	14.96	59.5	48.5	41.5	10	10	5	17	18	9	18	20	9
1.4.23 0:08	7.63	10.03	14.96	59.5	48.5	41.5	11	10	6	20	16	9	21	18	9
1.4.23 0:09	7.51	9.98	14.98	59	48.5	41.5	10	9	6	14	16	8	15	17	8
1.4.23 0:10	7.61	10.05	14.99	59	48.5	41.5	8	10	5	14	13	8	16	14	8
5.4.23 0:00	17.47	16.74	25.17	71	66.5	44.5	12	11	1	18	18	1	20	21	2
5.4.23 0:01	17.81	16.67	25.14	69.5	66.5	44.5	8	12	1	14	18	3	14	22	3
5.4.23 0:02	17.98	16.67	25.12	69.5	66.5	44.5	9	12	1	16	20	3	18	25	4
5.4.23 0:03	17.68	16.95	25.1	71	66	44.5	9	12	0	11	21	1	11	26	1
5.4.23 0:04	17.7	16.89	25.08	71	66	44.5	9	11	1	16	16	1	17	17	2
5.4.23 0:05	17.18	16.96	25.06	72.5	66	44.5	10	11	1	18	19	2	22	27	2
5.4.23 0:06	16.96	17.04	25.04	73	65.5	44.5	11	12	1	18	20	2	20	26	4
5.4.23 0:07	17.04	17.04	25.02	73	65.5	44.5	9	13	1	16	20	2	20	26	2
5.4.23 0:08	17.25	16.79	25	72	66	44.5	11	12	1	17	18	2	18	23	3
5.4.23 0:09	17.08	16.63	24.98	72.5	66.5	44.5	10	11	0	16	16	1	18	17	2
5.4.23 0:10	17.29	16.7	24.96	72	66.5	44.5	9	13	1	14	19	2	15	26	2
10.4.23 0:00	14.04	15.38	24.1	70	58.5	46.5	1	2	4	4	3	8	5	5	10
10.4.23 0:01	14.12	15.42	24.09	70	58.5	46.5	2	2	5	5	4	8	7	7	10
10.4.23 0:02	14.08	15.39	24.09	70	58.5	46.5	1	2	7	5	5	11	5	7	12
10.4.23 0:03	13.73	15.45	24.09	71	58.5	46.5	2	3	4	4	5	7	4	7	8
10.4.23 0:04	14.06	15.52	24.08	70	58.5	46.5	2	2	5	5	4	8	6	5	9
10.4.23 0:05	14.35	15.57	24.07	69.5	58.5	46.5	2	3	5	4	6	7	5	10	7
10.4.23 0:06	14.05	15.58	24.07	70	58.5	46.5	2	3	5	5	6	9	5	9	10
10.4.23 0:07	14.29	15.62	24.06	69.5	58.5	46.5	2	3	4	5	6	9	5	10	9
10.4.23 0:08	14.31	15.63	24.06	69	58	46.5	1	4	4	4	7	7	6	12	9
10.4.23 0:09	14.34	15.65	24.05	69	58	46.5	2	3	5	4	5	9	5	7	10
10.4.23 0:10	14.48	15.68	24.04	69	58	46.5	2	3	6	4	5	9	6	7	11

	S1_temp	S2_temp	S3_temp	S1_RH	S2_RH	S3_RH	S1_PM1	S2_PM1	S3_PM1	S1_PM2.5	S2_PM2.5	S3_PM2.5	S1_PM10	S2_PM10	S3_PM10
15.4.23 0:00	15.12	14.89	23.91	64.5	59.5	42.5	17	13	3	29	20	4	35	22	5
15.4.23 0:01	15.12	14.89	23.91	64	59.5	42.5	18	12	3	30	18	5	37	20	5
15.4.23 0:02	15.2	14.88	23.93	64	59.5	42.5	17	13	3	28	20	4	34	22	4
15.4.23 0:03	15.05	14.88	23.94	64.5	59.5	42.5	18	11	3	29	19	5	36	21	5
15.4.23 0:04	15.12	14.86	23.95	64	59.5	42.5	16	11	3	26	19	5	32	20	5
15.4.23 0:05	15.02	14.85	23.96	64.5	59.5	42.5	17	12	3	31	20	4	38	22	4
15.4.23 0:05	15.14	14.85	23.97	64	59.5	42.5	17	12	3	27	20	5	33	22	5
15.4.23 0:07	15.13	14.84	23.99	64	59.5	42.5	18	11	2	29	18	3	37	19	3
15.4.23 0:08	15.08	14.83	24	64.5	59.5	42.5	18	12	1	28	20	3	33	23	3
15.4.23 0:09	15.17	14.83	24.01	64	59.5	42.5	18	10	3	30	16	4	37	17	5
15.4.23 0:10	15.13	14.84	24.03	64	59.5	42.5	19	9	3	31	16	5	38	17	5
20.4.23 0:00	14.36	16.65	22.79	75.5	62.5	49.5	2	2	2	4	4	3	4	5	4
20.4.23 0:01	14.66	16.58	22.79	75	62.5	49.5	1	3	2	3	5	4	3	5	4
20.4.23 0:02	14.87	16.61	22.79	74.5	62.5	49.5	2	1	2	3	2	3	3	3	3
20.4.23 0:03	14.64	16.65	22.79	75	62.5	49.5	3	2	3	4	3	4	5	5	4
20.4.23 0:04	14.9	16.68	22.79	74.5	62.5	49.5	2	3	3	3	5	3	4	7	3
20.4.23 0:05	14.44	16.68	22.79	75.5	62	49.5	3	3	2	5	6	4	7	7	5
20.4.23 0:06	13.84	16.72	22.78	77.5	62	49.5	3	3	3	5	5	4	7	6	4
20.4.23 0:07	14.27	16.71	22.78	76	62	49.5	3	3	3	4	5	4	5	6	4
20.4.23 0:08	14.33	16.67	22.78	76	62	49.5	3	3	2	4	5	3	4	6	3
20.4.23 0:09	14.15	16.63	22.77	76.5	62	49.5	2	3	3	4	6	3	5	6	3
20.4.23 0:10	14.41	16.63	22.78	76	62.5	49.5	3	3	3	4	5	4	4	6	4
25.4.23 0:00	16.17	17.09	21.37	67.5	59.5	55	6	6	7	8	9	10	8	9	10
25.4.23 0:01	16.14	17.1	21.37	68	60	55	7	5	6	10	10	9	10	10	10
25.4.23 0:02	15.9	17.13	21.36	68	59.5	55	7	7	6	10	10	9	11	11	9
25.4.23 0:03	16.09	17.15	21.36	67.5	59.5	55	4	8	6	6	11	10	6	12	10
25.4.23 0:04	15.94	17.19	21.35	68	59.5	55	6	7	8	11	10	12	12	11	12
25.4.23 0:05	15.98	17.22	21.36	68	59.5	55	3	6	6	5	9	9	5	10	10
25.4.23 0:06	15.91	17.2	21.35	68	60	55	6	6	6	10	10	9	11	10	9
25.4.23 0:07	15.9	17.19	21.35	68.5	60	55	7	7	7	11	11	10	11	11	10
25.4.23 0:08	16.09	17.17	21.35	67.5	60	55	6	6	6	9	11	9	9	11	10
25.4.23 0:09	16.27	17.2	21.34	67.5	60	55	7	6	7	10	12	10	10	12	11
25.4.23 0:10	16.27	17.21	21.35	67	60	55	5	7	5	8	12	7	8	12	8

### 10.3.3. Описателен анализ

Тази програма ще покаже основните статистически свойства на данните. Софтуерната програма SPSS позволява анализ и изследване на данните. До това меню за анализ се стига, като се избере опцията „Descriptive Statistics“ (Описателна статистика) от менюто „Analyze“ (Анализ), за да се изследват данните. Тази опция показва основните статистически характеристики на данните. Тези характеристики включват средна стойност, стандартно отклонение, медиана и квантили. Чрез анализа на тези характеристики може да се получи важна информация за данните.

- Изберете „Descriptive Statistics“ (Описателни статистики) от менюто „Analyze“ (Анализиране) (фиг. 9).



Фигура 9. Меню за анализи на SPSS

- Изберете съответните променливи.
- Щракнете върху бутона „OK“.

Таблица 5 включва описателен анализ и показва температурата, влажността и нивата на РМ (прахови частици), измерени от различните сензори. Тази таблица съдържа основни статистически характеристики като минимум, максимум, средна стойност и стандартно отклонение.

Сред измерванията на температурата стойностите на температурата, измерени от сензора S3, са по-високи в сравнение с другите сензори. Няма голяма разлика между сензорите S1 и S2. Сред измерванията на влажността стойностите на влажността, измерени от сензора S1, са най-високи, а стойностите на влажността, измерени от сензора S3, са най-ниски.

Сред измерванията на PM1, PM2.5 и PM10 стойностите на PM1 и PM10, измерени от сензора S2, са по-високи от тези на останалите сензори. Стойностите на PM2.5, измерени от сензор S1, са най-високи, а стойностите на PM2.5, измерени от сензор S3, са най-ниски.

Сензорът S3 измерва по-високи стойности на температурата в сравнение с другите сензори, докато сензорът S1 измерва по-високи стойности на влажността. При измерванията на PM сензорът S2 измерва по-високи стойности на PM1 и PM10. Сензорът S1 измерва по-високи стойности на PM2.5. Като се вземат предвид стойностите на стандартното отклонение, може да се каже, че стойностите, измерени от сензора S3, като цяло са по-малко променливи.

**Таблица 5.** Описателен анализ на данните

<b>Дескриптивна статистика</b>					
	N	Минимум	Максимум	Средно	Стандартно отклонение
S1_temp	39 900	5	29	17.63	4.014
S2_temp		8	33	18.52	4.166
S3_temp		11	36	22.52	3.382
S1_RH		31	83	58.19	10.632
S2_RH		24	69	50.57	10.019
S3_RH		31	75	49.27	6.721
S1_PM1		0	70	6.70	3.857
S2_PM1		0	59	7.45	3.905
S3_PM1		0	86	4.22	3.441
S1_PM2.5		0	150	10.93	6.279
S2_PM2.5		0	138	11.87	6.221
S3_PM2.5		0	176	6.78	5.442
S1_PM10		0	163	11.82	7.179
S2_PM10		0	172	13.60	7.438
S3_PM10		0	195	7.24	6.000

В таблица 5 са представени данни за качеството на въздуха: температура, относителна влажност и измервания на прахови частици (PM1, PM2.5 и PM10) от три различни сензора (S1, S2 и S3). Данните са анализирани общо за месец април. В таблицата са представени минималните, максималните, средните стойности и стандартното отклонение за всеки параметър.

Заключенията от анализа на данните са следните. Средната температура за S1 е 17.63°C със стандартно отклонение от 4.014. Стойностите на температурата, измерени от S2 и S3, са по-високи от тези, измерени от S1; максималната температура на S2 е 33°C, а максималната температура на S3 е 36°C. По отношение на относителната влажност (RH) средната RH за S1 е 58,19% със стандартно отклонение 10.632. Стойностите на относителната влажност на въздуха за S2 и S3 са по-ниски от тези за S1; S2 има максимална относителна влажност на въздуха 69%, а S3 има максимална относителна влажност на въздуха 75%. Според данните за концентрациите на ФПЧ средните концентрации на ФПЧ за S1, S2 и S3 намаляват в реда ФПЧ10 > ФПЧ2.5 > ФПЧ1.

#### **10.3.4. Визуализация на данни**

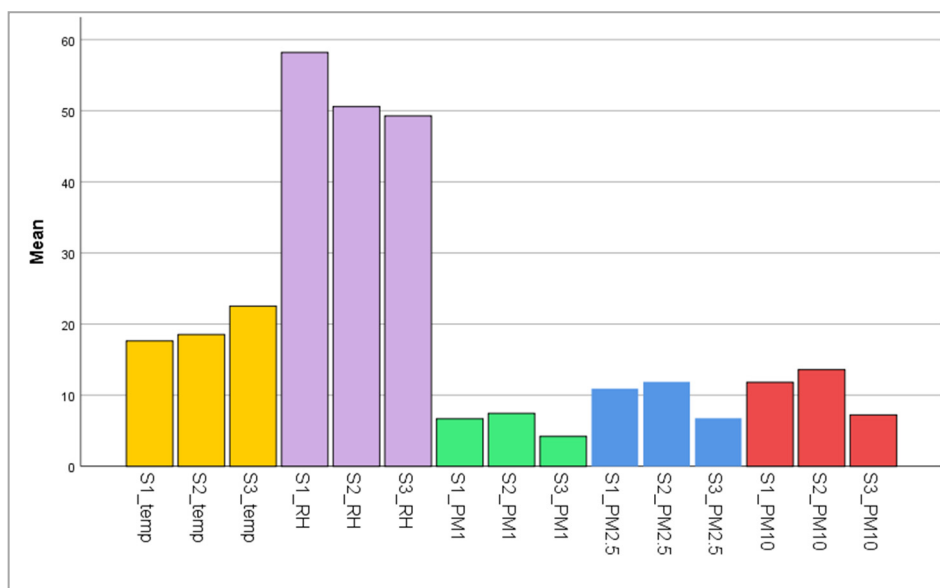
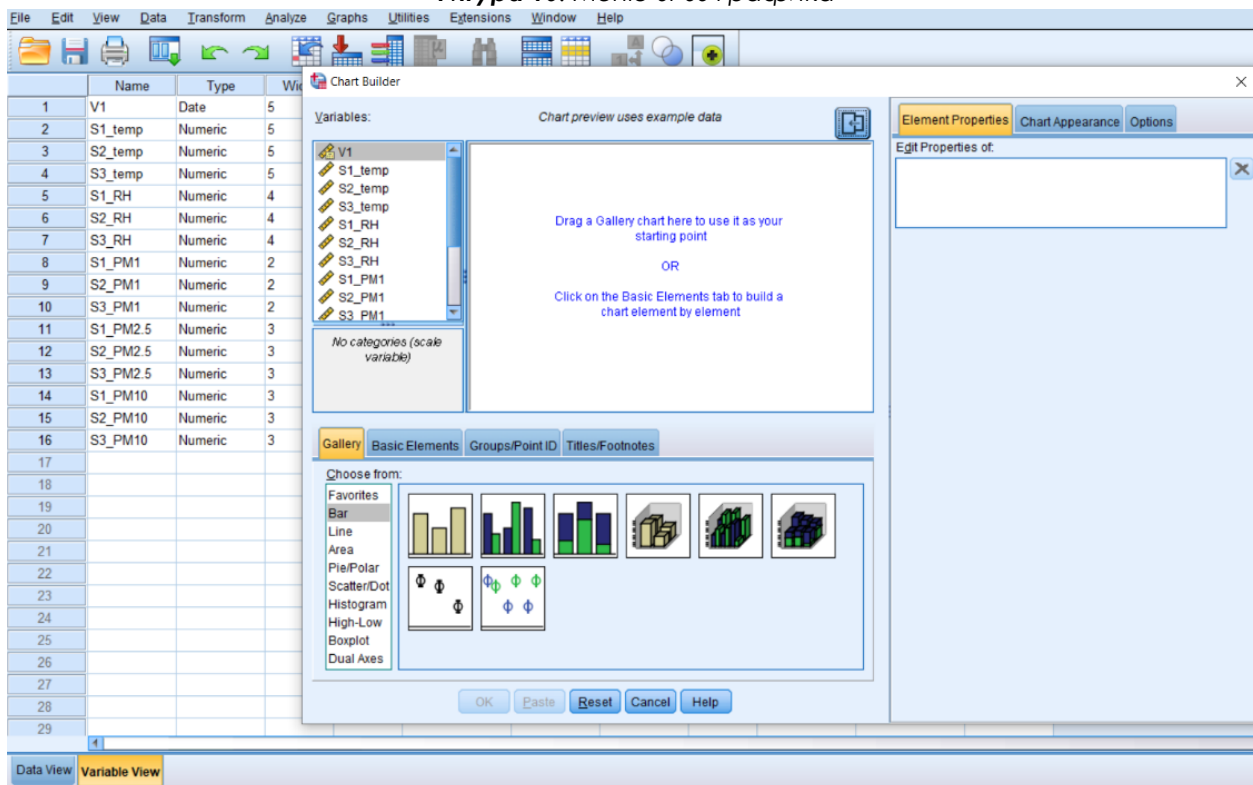
Софтуерът SPSS позволява и анализ на данните чрез визуализация. Данните могат да се визуализират, като се избере подходящ тип графика от менюто „Graphs“. Например чрез „Бар графика“ (фиг. 11) могат да се сравнят измерванията на различни сензори.



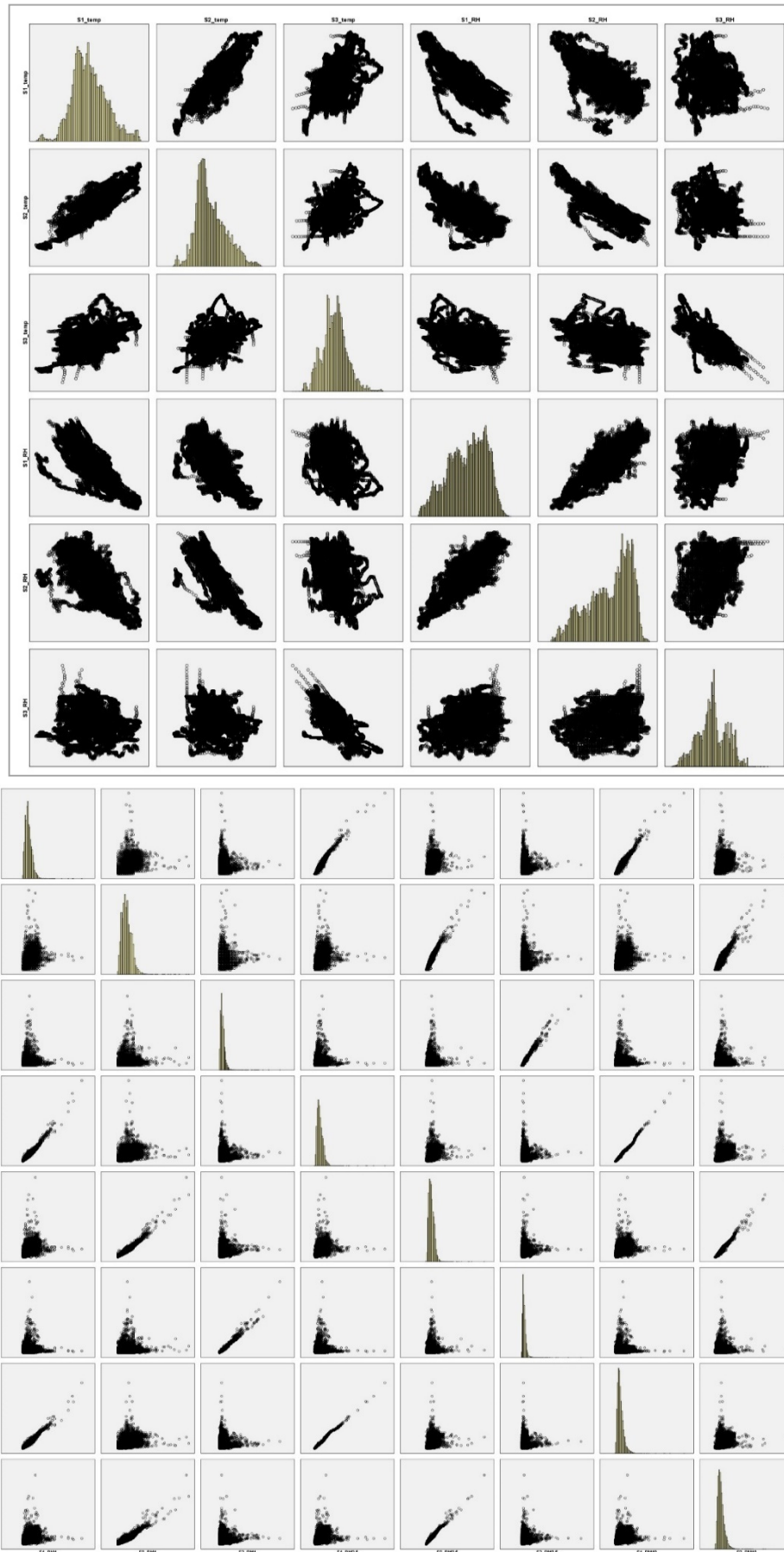
Чрез опцията „Scatterplot“ (фиг. 12) може да се създаде графика, показваща връзката между два сензора. Тези диаграми могат да се използват за разбиране на разликите в данните и за визуализиране на резултатите.

- Изберете подходящите опции на графиката от менюто „Graphs“ (Фиг. 10).
- Изберете съответните променливи.
- Щракнете върху бутона „ОК“.
- Програмата ще създаде избраната графика.

Фигура 10. Меню SPSS Графика



Фигура 11. Бар диаграма на данните



Фигура 12. Графики на разсейване на данните

Формула за корелационен коефициент на Пирсън:

$$r = \frac{N\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[N\sum x^2 - (\sum x)^2][N\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

N = брой двойки точки

$\sum xy$  = сума от произведенията на двойките точки

$\sum x$  = сума от точките x

$\sum y$  = сума от точките y

$\sum x^2$  = сума на квадратите на x

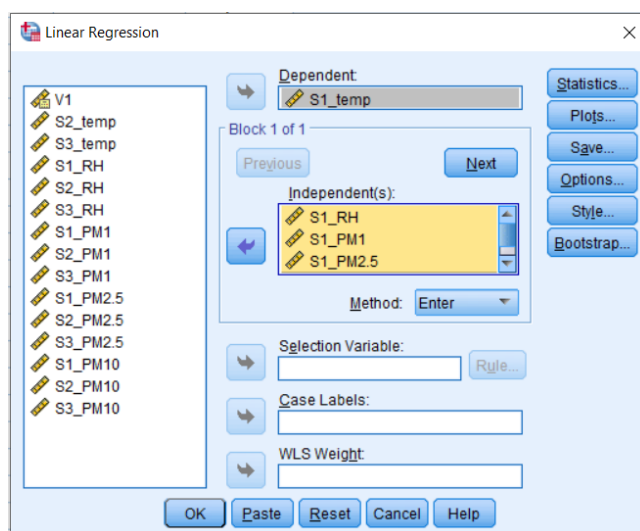
$\sum y^2$  = сума на квадратите на y

Диаграмите на разсейване анализират дали има линейна връзка между две променливи. Необходимо е обаче да се изчисли коефициентът на корелация на Пирсън, за да се разбере връзката между двете данни в тази графика. Този коефициент определя дали има голяма, умерена или малка корелация и положителна или отрицателна връзка между две данни. Въпреки че коефициентът на корелация приема стойности от -1 до +1 ( $-1 \leq r \leq +1$ ), стойности между 0.00 и 0.25 са „много слаби“. Стойностите между 0.26 и 0.49 са „слаби“ при коефициентите на корелация. Стойност между 0.50 и 0.69 е „средна“, стойност между 0.70 и 0.89 е „висока“, а стойност между 0.90 и 1.00 е „много висока“. Следователно е необходимо да се изчислят тези коефициенти, за да се интерпретира тази графика. В таблица 7 са дадени стойностите на коефициентите на корелация. Според тази таблица може да се прочете, че докато между температурата и относителната влажност има отрицателна корелация, то между ПМ има положителна корелация.

### 10.3.5. Регресионен анализ

Регресионният анализ е техника за определяне на връзката между две или повече променливи. Чрез избиране на опцията „Regression“ (Регресия) от менюто „Analyze“ (Анализиране) може да се стартира регресионен анализ. След това изследване ще бъде възможно да се разбере как променливите са свързани и да се използва тази връзка, за да се направят прогнози за бъдещето. Например регресионният анализ може да се използва за намиране на връзката между температурата и влажността, като се изберат тези две променливи (Таблица 6).

- Изберете „Regression“ (Регресия) от менюто „Analyze“ (Анализиране) (фиг. 13).



Фигура 13. Меню за линейна регресия на SPSS

- Изберете съответните променливи.
- Щракнете върху бутона „ОК“.

Програмата ще разбере връзката между променливите и ще позволи изготвянето на бъдещи прогнози.

**Таблица 6.** Извадка от регресионен анализ за връзката между температурата и свързаните с нея стойности

ANOVA <sup>a</sup>						
Модел		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	383605,314	4	95901,329	14766,635	,000 <sup>b</sup>
	Residual	259096,509	39895	6,494		
	Total	642701,824	39899			
a. Dependent Variable: S1_temp						
b. Predictors: (Constant), S1_PM10, S1_RH, S1_PM1, S1_PM2.5						

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	483670,045	4	120917,511	23113,715	,000 <sup>b</sup>
	Residual	208707,432	39895	5,231		
	Total	692377,477	39899			
a. Dependent Variable: S2_temp						
b. Predictors: (Constant), S2_PM10, S2_RH, S2_PM1, S2_PM2.5						

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	211562,893	4	52890,723	8618,332	,000 <sup>b</sup>
	Residual	244835,694	39895	6,137		
	Total	456398,587	39899			
a. Dependent Variable: S3_temp						
b. Predictors: (Constant), S3_PM10, S3_RH, S3_PM1, S3_PM2.5						

Проучването на таблиците ANOVA определя кои предиктори влияят значително върху зависимите променливи и колко силен е този ефект. Тук се извършва ANOVA анализ и ако нивото на значимост на стойностите (sig.) е по-малко от 0.05, може да се каже, че регресионният модел е значим за всеки набор от данни. Съответно 1-ва таблица е свързана с данните S1\_temp, 2-ра таблица – с данните S2\_temp, а 3-та таблица – с данните S3\_temp. Тези таблици показват резултатите от анализа на вариациите (ANOVA) за три различни модела, всеки от които има зависима променлива – температурата, и четири предиктора – относителна влажност и прахови частици.

Анализирайки първата таблица, сечението на регресията (383605.314) е много по-голямо от сечението на остатъка (259096.509), което показва, че то влияе значително върху предикторите S1\_temp. Също така, F-стойността (14766.635) е много по-голяма от критичната стойност, което показва, че регресионният модел е значим.

По подобен начин втората таблица показва, че регресионният модел е значим за S2\_temp, тъй като F-стойността (23113.715) е много по-голяма от критичната стойност.

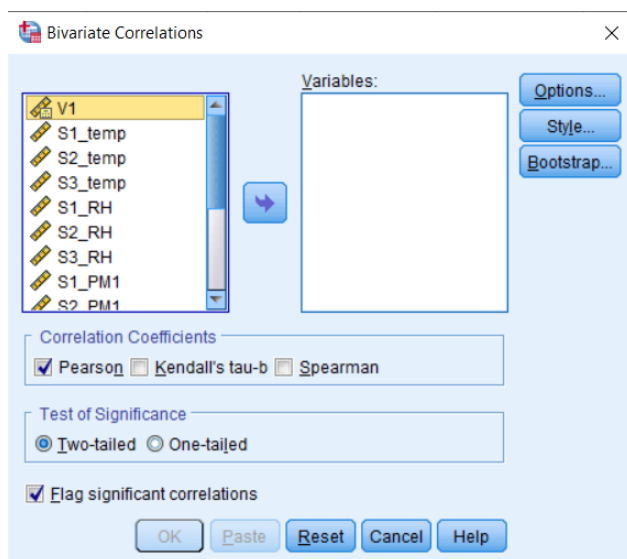
И накрая, третата таблица показва, че регресионният модел е значим за S3\_temp, но в по-ниска степен от другите два модела, тъй като стойността на F (8618.332) все още е значима, но не толкова висока, колкото стойността на другите два модела.

### 10.3.6. Корелационен анализ

Корелационният анализ е статистически метод, използван за измерване на връзката между две променливи. Този анализ показва влиянието на една променлива върху друга и се използва за изчисляване на корелационен коефициент, който измерва това влияние.

Следните стъпки се следват в програмата SPSS, за да се извърши корелационен анализ:

- Отворете SPSS и заредете данните.
- Изберете „Корелации“ от менюто „Данни“ (фиг. 14).



Фигура 14. SPSS меню Корелация

- На появилия се екран изберете променливите, които искате да анализирате корелационно.
- Когато в опцията за тип анализ е избран коефициент на корелация „Пийърсън“, връзката измерва линейната зависимост между променливите.
- Разгледайте диаграмата, за да определите коя променлива е най-тясно свързана с коя друга променлива от резултатите от теста.
- Проверете р-стойността, за да определите дали връзката е статистически значима. Например,  $p < 0,05$  се счита за статистически значима.

Въз основа на резултатите може да се определи дали променливите имат положителна или отрицателна корелация. При положителна корелация променливите се движат заедно, докато при отрицателна корелация едната променлива се увеличава, докато другата намалява.

Корелационният анализ е мощен статистически инструмент за оценка на връзката между две променливи. Програмата SPSS предлага лесен и удобен за ползване интерфейс за извършване на този анализ. Като следвате тези стъпки, корелационният анализ може да бъде направен с SPSS и резултатите да бъдат интерпретирани.

Таблица 7 показва резултатите от корелационния анализ. Таблицата показва корелацията на температурата, влажността и различните видове частици (PM1, PM2.5 и PM10), измерени от различни сензори. Стойностите в таблицата са изчислени с помощта на коефициента на корелация на Пирсън. Отрицателните стойности в таблицата показват обратна връзка между двете променливи, докато положителните стойности показват правопрпорционална връзка. Освен това бяха установени високи коефициенти на корелация ( $0.965^{**}$  –  $0.989^{**}$ ) между PM1, PM2,5 и PM10.

Таблица 7. Корелационен анализ на данните

Correlations												
	S1_RH	S2_RH	S3_RH	S1_PM1	S2_PM1	S3_PM1	S1_PM2.5	S2_PM2.5	S3_PM2.5	S1_PM10	S2_PM10	S3_PM10
S1_temp	-.770**	-.695**	-.142**	-.085**	0.00	.058**	-.121**	-.037**	.047**	-.117**	-.025**	.058**
S2_temp	-.733**	-.833**	-.199**	-.181**	-.122**	.051**	-.210**	-.154**	.046**	-.206**	-.141**	.056**
S3_temp	-.400**	-.372**	-.675**	-.041**	0.01	0.00	-.051**	0.00	-.013**	-.047**	0.01	0.00
S1_PM1	.177**	.249**	.069**	1.00	.649**	.093**	.976**	.638**	.076**	.965**	.607**	.062**
S2_PM1	.081**	.196**	.058**	.649**	1.00	.102**	.626**	.975**	.079**	.606**	.947**	.066**
S3_PM1	0.00	-.011*	.116**	.093**	.102**	1.00	.085**	.095**	.977**	.083**	.086**	.967**
S1_PM2.5	.213**	.274**	.068**	.976**	.626**	.085**	1.00	.625**	.073**	.989**	.600**	.060**
S2_PM2.5	.116**	.224**	.055**	.638**	.975**	.095**	.625**	1.00	.078**	.609**	.980**	.065**
S3_PM2.5	0.01	-0.01	.128**	.076**	.079**	.977**	.073**	.078**	1.00	.073**	.073**	.992**
S1_PM10	.204**	.266**	.055**	.965**	.606**	.083**	.989**	.609**	.073**	1.00	.593**	.062**
S2_PM10	.111**	.214**	.038**	.607**	.947**	.086**	.600**	.980**	.073**	.593**	1.00	.064**
S3_PM10	-0.01	-.024**	.118**	.062**	.066**	.967**	.060**	.065**	.992**	.062**	.064**	1.00

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Когато се анализира тази корелационна таблица, могат да се разчетат връзките между температурата, относителната влажност и РМ. Стойностите в таблицата представят силата и посоката на връзката между всяка двойка променливи. При разглеждане на таблицата се вижда, че има отрицателна корелация между температурата и относителната влажност, както и отрицателна корелация между температурата и концентрациите на ФПЧ. Освен това има силна положителна корелация между измерванията на ФПЧ. Тази положителна корелация между различните измервания на ФПЧ предполага, че те могат да бъдат повлияни от сходни източници или процеси в околната среда.

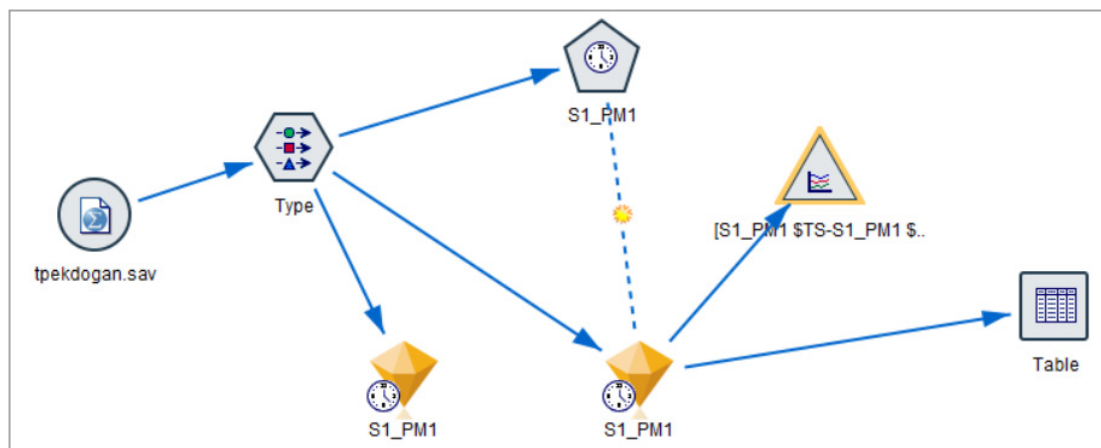
### 10.3.7. Разширения на SPSS

Софтуерът SPSS предлага много методи, които могат да се използват за анализ на данните и тълкуване на резултатите. Освен това от менюто „Разширения“ на програмата могат да се добавят различни методи за анализ. Тези допълнения могат да бъдат например „GeoMap“, който дава възможност данните да се визуализират върху карти, или „Modeler“, който дава възможност данните да се анализират чрез методите на машинното обучение. SPSS Modeler е софтуерен инструмент за извличане и анализ на данни. SPSS Modeler може да се използва за изграждане на модели за прогнозиране. Прогнозирането на времеви редове е един от тези модели. Прогнозирането на времеви редове е метод за прогнозиране на бъдещи тенденции с помощта на исторически данни.

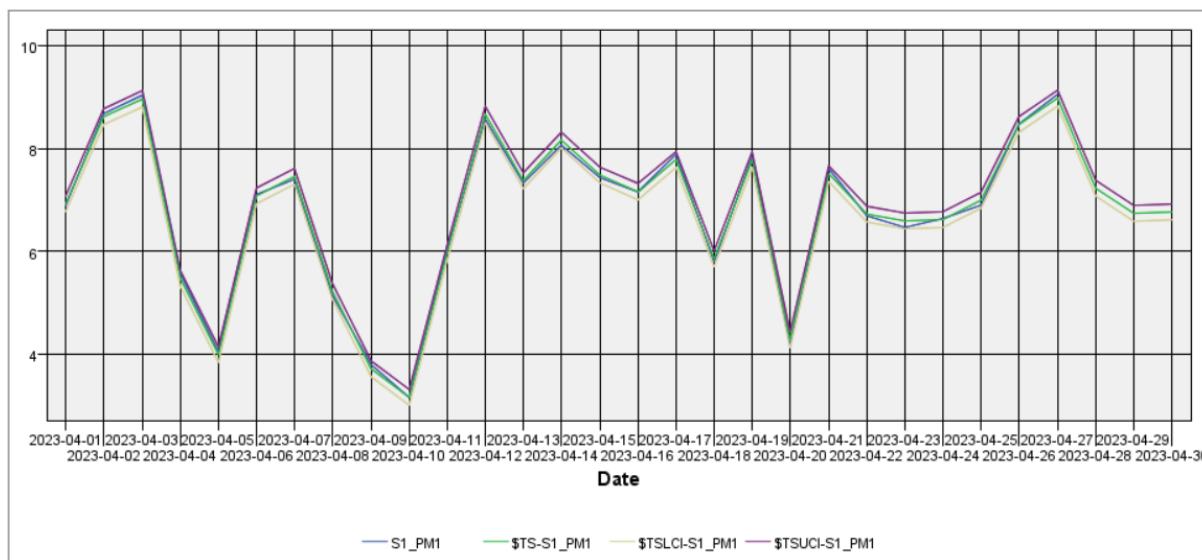
Планът за действие стъпка по стъпка за прогнозиране на времеви редове е следният:

- Подготовка на данните: Данните трябва да се подготвят за прогнозиране на времеви редове. Тези данни са данни, събрани през минали периоди.
- Анализ на данните: След като данните са готови, в SPSS Modeler се създава набор от данни за времеви редове, за да се анализират данните.
- Създаване на модела за прогнозиране: В SPSS Modeler са налични много инструменти за създаване на прогнозни модели за прогнозиране на времеви редове. Тези инструменти съдържат много алгоритми, които да се използват за прогнозиране на бъдещи тенденции.
- Изготвяне на прогнози: Бъдещите тенденции могат да се прогнозират, след като моделът е бил валидиран.
- Измерване на надеждността на резултатите от прогнозата: Измерване на надеждността на резултатите от прогнозата: Анализът на резултатите от прогнозите е важен за измерване на точността и надеждността на модела.

Следвайки тези стъпки, с помощта на SPSS Modeler може да се направи прогнозиране на времеви редове (фиг.15 и 16).



Фигура 15. Визуализация на диаграмата на потока на SPSS Modeler



Фигура 16. Прогнозиране на времеви редове в IBM SPSS Modeler

Той намира прогнозни стойности на UCL и LCL, когато е помолен да прогнозира три дни след тази графика. UCL представлява горната контролна граница в графиката, а LCL – долната контролна граница. В сравнение със стойностите, взети три дни по-късно, средната стойност от 7.14 PM1 за 30 април е измерената стойност, докато прогнозираната стойност е 6.770, стойността на LCL е 6.616, а стойността на UCL е 6.924. Вижда се, че разликата между тях е средно 5.5%.

## 10.4. Заключение

В тази глава анализирахме измерените данни, получени в рамките на проект 2021-1-RO01-KA220-NED-000030286, „Приложение на някои съвременни технологии в обучението и изследванията на замърсяването на въздуха“, със статистическата програма SPSS. В това изследване е представена цялостна дискусия относно анализа на данните, събрани от различни сензори, измерващи температурата, влажността и нивата на праховите частици. Анализът включва статистически методи като описателна статистика, визуализация на данните, регресионен анализ, корелационен анализ и оценка на времеви редове с помощта на софтуера SPSS.

Описателната статистика в този доклад дава възможност за по-добро разбиране на характеристиките на данните. На този етап са изчислени средните стойности, медианата, стандартното отклонение и квантилите. Например сензорът S2 е измерил по-високи стойности на PM1 и PM10 от измерванията на PM, докато сензорът S1 е измерил по-високи стойности на PM2,5.

По време на етапа на визуализация на данните със софтуера SPSS бяха създадени различни графики, като например стълбовидни графики, графики на разсейване и боксови графики.

Регресионният анализ е друг метод за определяне на връзката между две или повече променливи.

Друг метод за анализ е корелационният анализ. Корелационният анализ се използва за измерване на връзката между две променливи.

За окончателния анализ е използвано разширението SPSS Modeler, което е извършено с друга инсталация на програмата. Тази програма работи като разширение на



програмата SPSS; оттам могат да се правят много анализи и визуализации. Прогнозирането на времеви редове е метод за прогнозиране на бъдещи тенденции с помощта на исторически данни.

В тази глава се подчертава значението на наблюдението и анализа на качеството на въздуха отвъд мониторинга. Анализът на данните от сензорите може да осигури важна информация за факторите, които влияят върху качеството на въздуха. Особено за сравняване на две данни или за прогнозиране на бъдещето софтуерът SPSS предлага различни методи за анализиране на данните и тълкуване на резултатите. Следването на стъпките, описани в този доклад, дава възможност за по-добро разбиране на данните и вземане на информирани решения относно качеството на въздуха.

### Литературни източници

1. Schell, M.B.; Turner, S.C.; Shim, R.O. Application of CO<sub>2</sub>-Based Demand-Controlled Ventilation Using ASHRAE Standard 62: Optimizing Energy Use and Ventilation. *ASHRAE Trans* 1998, 104, 1213–1225.
2. Qi, M.W.; Li, X.F.; Weschler, L.B.; Sundell, J. CO<sub>2</sub> Generation Rate in Chinese People. *Indoor Air* 2014, 24, 559–566.
3. Pekdogan, T. Experimental and Numerical Investigation of a Heat Recovery Ventilation Unit with Phase Change Material for Building Facades. 2021.
4. Bas, E. *Indoor Air Quality: A Guide for Facility Managers.*; 2004; ISBN 088173327X.
5. EU, EU Directive 2018/844/EU. Energy Performance of Buildings. Official Journal of the European Union 2018.
6. Anderson, J.O.; Thundiyil, J.G.; Stolbach, A. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. *Journal of Medical Toxicology* 2012, 8.
7. The death rate due to air pollution worldwide from 1990 to 2019.
8. Environmental Protection Agency. (n.d.). Criteria Air Pollutants. EPA. <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>
9. European Council Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of May 21, 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Off J 152:0044.
10. Ambient air quality standards (GB 3095-2012) [Review of Ambient air quality standards]. National Standard of the People's Republic of China.
11. Ministry of Environment, Forest, and Climate Change (Director). (n.d.). CPCB | Central Pollution Control Board. CPCB. <https://cpcb.nic.in/>
12. The World Air Quality Index Project, Integration of Education, No. 4, 2012, ISSN 2308-1058
13. Pekdoğan, T., Udristoiu, M. T., Yıldızhan, H. and Ameen, A, From Local Issues to Global Impact: Evidence of Air Pollution for Romania and Turkey. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4569124> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4569124>

Този материал е финансиран от Европейската комисия в рамките на проекта „Еразъм+“.  
**Прилагане на някои съвременни технологии в преподаването и научните изследвания  
във връзка със замърсяването на въздуха**  
Код на проекта: 2021-1-RO01-KA220-HED-000030286

Подкрепата на Европейската комисия за издаването на тази публикация не представлява одобрение на съдържанието, което отразява единствено възгледите на авторите, и Националната агенция и Комисията не носят отговорност за използването на съдържащата се в нея информация.



Funded by  
the European Union



University of Craiova



Paisiy Hilendarski Uni-  
versity of Plovdiv



Adana Tırkes Alparslan  
University of Science and  
Technology

