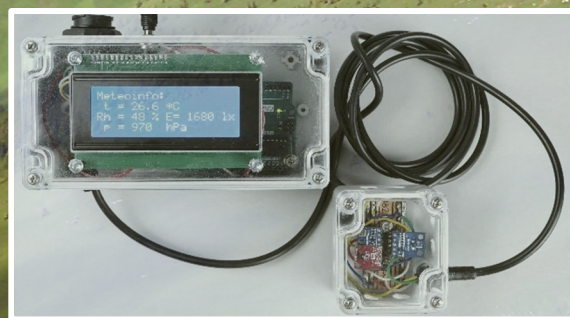
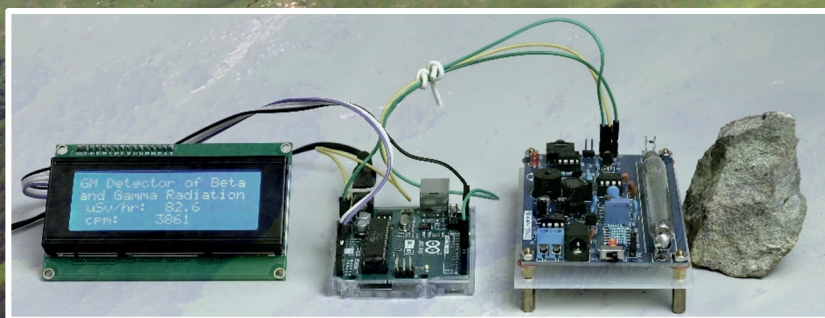


# LABORATÓRNE AKTIVITY S ENVIRONMENTÁLNymi SENZORMI



Tento materiál bol financovaný Európskou komisiou v rámci projektu Erasmus+  
***Uplatňovanie niektorých pokročilých technológií***  
***vo výučbe a výskume v súvislosti so skúmaním znečistenia ovzdušia.***  
**Číslo projektu: 2021-1-RO01-KA220-HED-000030286**

Podpora Európskej komisie na vydanie tejto publikácie nepredstavuje schválenie obsahu, ktorý vyjadruje len názory autorov, a národná agentúra a Komisia nenesú zodpovednosť za akékoľvek použitie informácií, ktoré sú v nej obsiahnuté.

Autori:

Mihaela Tinca Udristioiu  
Silvia Puiu  
Silvia Galoi  
Rumen Popov  
Martin Hruška  
Radu Motisan  
Silviu Constantin Sararu  
Iulian Petrisor  
Ion Buligiu  
Tuğçe Pekdoğan

Editori:

Mihaela Tinca Udristioiu  
Miriam Spodniaková Pfefferová  
Martin Hruška

Preklad z anglického originálu:

Martin Hruška  
Miriam Spodniaková Pfefferová

© Mihaela Tinca Udristioiu, Silvia Puiu, Silvia Galoi, Rumen Popov, Martin Hruška, Radu Motisan, Silviu Constantin Sararu, Iulian Petrisor, Ion Buligiu, Tuğçe Pekdoğan, 2023

© Plovdiv University Press, 2023

ISBN 978-619-7663-90-7 (print)

ISBN 978-619-7663-91-4 (web)

# OBSAH

ÚVOD .....	7
<b>1. KAPITOLA. VYSOKO PRESNÉ MERANIE TEPLoty VZDUCHU SENZORMI RTD PT100 .....</b>	<b>18</b>
1.1. Trochu teórie na úvod .....	18
1.1.1. Meranie teploty pomocou odporových teplotných senzorov (RTD) .....	18
1.1.2. Odporové teplotné senzory z drahých kovov .....	18
1.1.3. Ovládací obvod PRTD.....	20
1.1.4. DAQ karta .....	20
1.1.5. Výpočet odporu odporového snímača RTD.....	22
1.2. Opis experimentálneho vybavenia.....	22
1.2.1. Hardvérové komponenty.....	22
1.2.2. Softvérové vybavenie .....	23
1.3. Úlohy.....	23
<b>2. KAPITOLA. MERANIE ZLOŽIEK SLNEČNÉHO ŽIARENIA .....</b>	<b>24</b>
2.1. Trochu teórie na úvod .....	24
2.1.1. Priame, rozptýlené a globálne slnečné žiarenie .....	24
2.1.2. Prístroje na meranie .....	25
2.1.2.A. CMP6 Pyranometer .....	25
2.1.2.B. CHP 1 Pyrheliometer.....	26
2.1.3. Meranie priameho, globálneho a rozptýleného slnečného žiarenia.....	27
2.1.3.A. DAQ modul .....	27
2.1.3.B. Meranie priameho slnečného žiarenia .....	28
2.1.3.C. Meranie globálneho slnečného žiarenia .....	29
2.1.3.D. Výpočet rozptýleného slnečného žiarenia .....	29
2.2. Opis experimentálneho vybavenia.....	29
2.2.1. Hardvérové komponenty.....	29
2.2.2. Softvérové vybavenie .....	30
2.3. Úlohy.....	30
<b>3. KAPITOLA. JEDNODUCHÝ ZVUKOMER S ARDUINOM.....</b>	<b>31</b>
3.1. Trochu teórie na úvod .....	31
3.1.1. Čo je to hladina akustického tlaku?.....	31
3.1.2. Ako vypočítať hladinu akustického tlaku? .....	31
3.1.3. Šírenie zvuku v prostredí .....	33
3.2. Opis experimentálneho vybavenia.....	34
3.2.1. Stručný opis jednotlivých komponentov zostrojeného Arduino zvukomera .....	34
3.2.2. Opis zapojenia a konštrukcie Arduino zvukomera .....	37
3.2.3. Naprogramovanie Arduino zvukomera a opis programu .....	39
3.2.4. Kalibrácia Arduino zvukomera .....	43

3.2.5. Zber dát zo zvukomera prostredníctvom počítača .....	45
3.2.6. Ako pracovať s Arduino zvukomerom.....	45
3.3. Úlohy.....	46
3.3.1. Meranie hluku v miestnosti.....	46
3.3.1.A. Postup merania .....	46
3.3.1.B. Analýza merania.....	46
3.3.2. Meranie hluku v mieste bydliska alebo školy .....	47
3.3.2.A. Postup merania .....	47
3.3.2.B. Analýza merania.....	48
3.3.3. Ako sa mení hladina intenzity zvuku so vzdialenosťou? .....	48
3.3.3.A. Postup merania .....	48
3.3.3.B. Analýza merania.....	49
<b>4. KAPITOLA. JEDNODUCHÝ GEIGEROV-MÜLLEROV DETEKTOR S ARDUINOM.....</b>	<b>52</b>
4.1. Trochu teórie na úvod .....	52
4.1.1. Ionizujúce žiarenie a jeho meranie.....	52
4.1.2. Stručný opis jednotlivých komponentov zostrojeného Arduino GM detektora .....	54
4.2. Opis experimentálneho vybavenia.....	57
4.2.1. Opis zapojenia a konštrukcie Arduino GM detektora.....	57
4.2.2. Naprogramovanie Arduino GM detektora a opis programu .....	57
4.2.3. Zber dát prostredníctvom počítača .....	60
4.3. Úlohy.....	61
4.3.1 Ako sa chrániť pred radiáciou 1 - ochrana vzdialenosťou .....	61
4.3.1.A. Postup merania .....	61
4.3.1.B. Analýza merania.....	62
4.3.2. Ako sa chrániť pred radiáciou 2 - ochrana tiením .....	63
4.3.2.A. Postup merania .....	63
4.3.2.B. Analýza merania.....	63
<b>5. KAPITOLA. Jednoduchá meteorologická stanica s ARDUINOM .....</b>	<b>66</b>
5.1. Trochu teórie na úvod .....	66
5.1.1. Stručný opis jednotlivých komponentov meteorologickej stanice .....	66
5.1.2. Opis zapojenia a konštrukcie meteorologickej stanice .....	69
5.2. Opis experimentálneho vybavenia.....	72
5.2.1. Naprogramovanie meteorologickej stanice a opis programu .....	72
5.2.2. Zber dát prostredníctvom počítača .....	74
5.3. Úlohy.....	76
5.3.1. Meteorologické pozorovanie .....	76
5.3.1.A. Postup merania .....	77
5.3.1.B. Analýza merania.....	77

<b>6. KAPITOLA. SENZOR NA MERANIE KVALITY OVZDUŠIA A SPÔSOB JEHO VÝROBY .....</b>	<b>79</b>
6.1 Trochu teórie na úvod .....	79
6.1.1. Obsah súpravy PM senzora a úloha každého komponentu .....	79
6.1.2. Ako vyrobiť PM sensor <i>Smoggie</i> pomocou súpravy? .....	83
6.2. Opis experimentálneho vybavenia .....	84
6.2.A. Ako napájať the ESP8266 WeMos D1 Mini .....	84
6.2.B. Ako nahráť zdrojový kód programu na ESP8266 WeMos D1 Mini .....	85
6.3. Úlohy .....	86
<b>7. KAPITOLA. 3D TLAČ. ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O PRÍPRAVE MODELU PRE 3D TLAČ .....</b>	<b>88</b>
7.1. Trochu teórie na úvod .....	88
7.2. Opis experimentálneho vybavenia .....	88
7.3. Úlohy .....	92
<b>8. KAPITOLA. ZÍSKAVANIE SÚBOROV ÚDAJOV ZOZBIERANÝCH SENZORMI.....</b>	<b>99</b>
8. Trochu teórie na úvod .....	99
8.1. Popis siete senzorov .....	99
8.2. Opis experimentálneho vybavenia: Získavanie informácií zo senzorov .....	100
8.3. Úlohy .....	101
8.3.1. Stiahnutie súborov .....	101
8.3.2. Organizácia údajov .....	106
<b>9. KAPITOLA. SPRACOVANIE A KORELAČNÁ ANALÝZA ÚDAJOV ZO SENZOROV.....</b>	<b>107</b>
9.1. Trochu teórie na úvod .....	107
9.1.1. Import údajov zo súborov CSV do programu Excel .....	107
9.1.2. Centralizácia údajov .....	108
9.1.3. Analýza údajov pomocou nástroja Kontingenčná tabuľka .....	109
9.1.4. Vytváranie grafov a interpretácia toku údajov .....	111
9.2. Korelačná analýza .....	112
9.2.1. Výpočet korelačných koeficientov pomocou nástroja Analytické nástroje .....	112
9.2.2. Korelačná analýza medzi parametrami CO <sub>2</sub> , hluk, CH <sub>2</sub> O a O <sub>3</sub> .....	114
9.3. Úlohy .....	118
<b>10. KAPITOLA. ŠTATISTICKÁ ANALÝZA ÚDAJOV Z MONITOROVACEJ STANICE KVALITY OVZDUŠIA: PRÍPAD ADANA .....</b>	<b>119</b>
10.1. Trochu teórie na úvod .....	119
10.1.1. Opis znečistenia vonkajšieho ovzdušia .....	119
10.1.2. Požiadavky na znečistenie vonkajšieho ovzdušia .....	120
10.2. Príklad práce so súborom údajov .....	125
10.2.1. Klimatické podmienky .....	125
10.2.2. Umiestnenie senzorov .....	126
10.2.3. Zber údajov .....	127

10.3. Analýza údajov .....	131
10.3.1. Zber údajov .....	132
10.3.2. Odosielanie údajov .....	132
10.3.3. Deskriptívna analýza .....	136
10.3.4. Vizualizácia údajov.....	137
10.3.5. Regresná analýza .....	140
10.3.6. Korelačná analýza .....	142
10.3.7. Rozšírenia SPSS .....	144
10.4. Záver .....	145

## ÚVOD

*Túto časť napísali Mihaela Tinca Udristioiu, Silvia Puiu and Silvia Galoi  
z Univerzity v Craiove, Rumunsko*

Štyri univerzity – Univerzita v Craiove (UCv), Univerzita Paisii Hilendarski v Plovdive (PU), Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici (UMB) a Adana Alparslan Türkeş University of Science and Technology (ATU) sú partnermi v projekte Erasmus+ s názvom „Uplatňovanie niektorých pokročilých technológií vo výučbe a výskume v súvislosti so skúmaním znečistenia ovzdušia“. V rámci neho členovia realizačného tímu spolupracovali a vymieňali si skúsenosti s prípravou študentov STEM. V tejto knihe je uvedený súbor laboratórnych aktivít užitočných pre študentov a pedagógov. Nové technológie, inovácie a podnikanie musia byť začlenené do vzdelávania študentov, aby im po ukončení štúdia pomohli prispôbiť sa náročnému pracovnému prostrediu a získať dobre platené pracovné miesta. Okrem toho by študenti mali byť vnímaví aj k problematike životného prostredia. Mali by rozumieť tomu, ako znečistenie ovplyvňuje ich zdravie, a poznať prvky legislatívy v oblasti ochrany životného prostredia.

Táto kniha laboratórnych aktivít obsahuje osvedčené postupy a niektoré nápady pedagógov, ktorí učia študentov technických a prírodovedných odborov z vyššie uvedených štyroch univerzít – UCv, PU, UMB a ATU. Obsahuje návody a informácie o tom, ako používať súpravu senzorov, na ich výrobu, programovanie, pripojenie a prenos údajov do rozsiahlej nezávislej siete senzorov. Autori tiež predstavujú spôsob, ako môžu študenti vizualizovať údaje zaznamenané jednotlivými senzormi, ako ich je možné stiahnuť z databázy a ako môžu byť ďalej analyzované a využité. Praktické zručnosti a kompetencie pre experimentálnu prácu sú pre budúcich inžinierov a vedcov nevyhnutné. Zároveň by absolventi mali mať podnikateľský rozhľad a poznať niektoré existujúce zákony o ochrane životného prostredia. Z tohto dôvodu sú v nasledujúcich odsekoch uvedené dva rôzne pohľady týkajúce sa udržateľného podnikania a dodržiavania zákonov.

V poslednom čase sa záujem o rozvoj podnikateľských iniciatív dosť zvýšil. Zameranie na udržateľnosť pomohlo mnohým ľuďom premeniť svoje podnikateľské nápady na nápady s potenciálom riešiť sociálno-ekonomické problémy. Podľa obsahu akademického slovníka Cambridge (n.d.) je podnikateľ „osoba, ktorá sa snaží dosiahnuť zisk založením spoločnosti alebo samostatným pôsobením vo svete podnikania, najmä ak to zahŕňa podstupovanie rizika“. Z predchádzajúcej definície vyplýva, že hlavným určujúcim faktorom pre podnikateľa je snaha dosiahnuť zisk, a to aj pri neodmysliteľných rizikách. Okrem tohto hlavného faktora sú podnikatelia motivovaní aj ďalšími faktormi, ako napríklad túžbou byť finančne nezávislí, túžbou rozvíjať sa a dokázať, že dokážu vytvoriť ziskový podnik, ochotou pokryť neuspokojené potreby v určitých trhových medzerách pre seba alebo iných ľudí; túžbou vytvoriť rodinný podnik so zapojením ďalších členov rodiny; túžbou mať záchrannú sieť, najmä v čase krízy, keď môže byť ťažké nájsť si prácu; túžbou mať kontrolu a nebyť podriadený iným ľuďom; túžbou vytvoriť sociálne podniky, ktoré by mohli mať pozitívny vplyv na komunitu, pomáhať ľuďom a riešiť problémy, ako sú klimatické zmeny a znečistenie. Stephan a i. (2015, s. 5) uskutočnili štúdiu o motiváciách stať sa podnikateľom v Spojenom kráľovstve a ich výsledky ukázali, že „autonómia“, „rodina“ a „flexibilita“ sú ďalšími podstatnými motivačnými faktormi, ktoré je tiež potrebné brať do úvahy, okrem tradičných faktorov súvisiacich s finančnou

motiváciou. Ďalším rozhodujúcim aspektom ich štúdie je, že podniky motivované túžbou podporovať rodinu a mať väčšiu autonómiu a slobodu majú „väčšiu šancu na prežitie“. Carter a i. (2003, s. 13) sa domnievajú, že najdôležitejšími dôvodmi na založenie podniku sú „osobné naplnenie, finančný úspech, úlohy, inovácie, uznanie a nezávislosť“.

Udržateľnosť znamená „uspokojovanie potrieb súčasnosti bez toho, aby bola ohrozená schopnosť budúcich generácií uspokojovať svoje vlastné potreby“ (OSN, 1987). V tomto kontexte môžeme vidieť, že tak podnikanie, ako aj udržateľnosť sa týkajú uspokojovania potrieb. Objavuje sa tak nová koncepcia podnikania, najmä udržateľné podniky, ktoré zohľadňujú svoj vplyv na komunitu a zameriavajú sa na znižovanie negatívnych dôsledkov svojich aktivít a vytváranie pozitívnych zmien, ktoré by mohli vyriešiť niektoré problémy komunity. Hospodárska a sociálna rada OSN (n.d.) – *Hospodárska a sociálna rada OSN zdôrazňuje tri piliere udržateľnosti: sociálny pilier zameraný na ľudí a ich blaho; hospodársky pilier zameraný na hospodársky rast a dosahovanie zisku; environmentálny pilier zameraný na ochranu planéty a zmiernenie klimatických zmien.*

V roku 2015 OSN stanovila 17 cieľov udržateľného rozvoja (SDG) ako súčasť Agendy 2030. Členské krajiny si stanovili ciele, ktoré sa majú dosiahnuť do roku 2030. Týmito cieľmi sú: SDG1 – „Žiadna chudoba“; SDG2 – „Nulový hlad“; SDG3 – „Dobré zdravie a blahobyt“; SDG4 – „Kvalitné vzdelávanie“; SDG5 – „Rodová rovnosť“; SDG6 – „Čistá voda a kanalizácia“; SDG7 – „Dostupná a čistá energia“; SDG8 – „Dôstojná práca a hospodársky rast“; SDG9 – „Priemysel, inovácie a infraštruktúra“; SDG10 – „Zníženie nerovností“; SDG11 – „Udržateľné mestá a komunity“; SDG12 – „Zodpovedná spotreba a výroba“; SDG13 – „Opatrenia v oblasti klímy“; SDG14 – „Život pod vodou“; SDG15 – „Život na zemi“; SDG16 – „Mier, spravodlivosť a silné inštitúcie“; SDG17 – „Partnerstvá na dosiahnutie cieľov“. Jednotlivci, podniky a verejné orgány môžu konať v súlade s uvedenými cieľmi, aby vytvorili udržateľnejší svet pre ľudí a planétu, teraz ale aj v budúcnosti, pre budúce generácie. Tieto ciele trvalo udržateľného rozvoja majú vyriešiť mnohé problémy vo svete súvisiace s odstránením chudoby a hladu, ochranou životného prostredia a vytvorením rovnakých práv, aby sa každý mohol rozvíjať. Keď sa bližšie pozrieme na 17 cieľov trvalo udržateľného rozvoja, všimneme si, že mnohé z nich môžu súvisieť s ochranou životného prostredia, znižovaním uhlíkovej stopy a vytváraním rovnakých príležitostí a práv. Napríklad znížením množstva odpadu a uplatňovaním zásad obehového hospodárstva (nič sa neplytvá, všetko sa transformuje) možno prinajmenšom znížiť hlad a chudobu (SDG1 a SDG2) a dúfajme, že čoskoro aj odstrániť. Ciele SDG6, SDG7, SDG12, SDG13, SDG14 a SDG15 sa týkajú zmeny klímy a potreby chrániť životné prostredie (ovzdušie, pôdu a vodu). Tieto ciele možno dosiahnuť prostredníctvom mnohých miestnych, národných, regionálnych alebo globálnych podnikateľských nápadov a iniciatív.

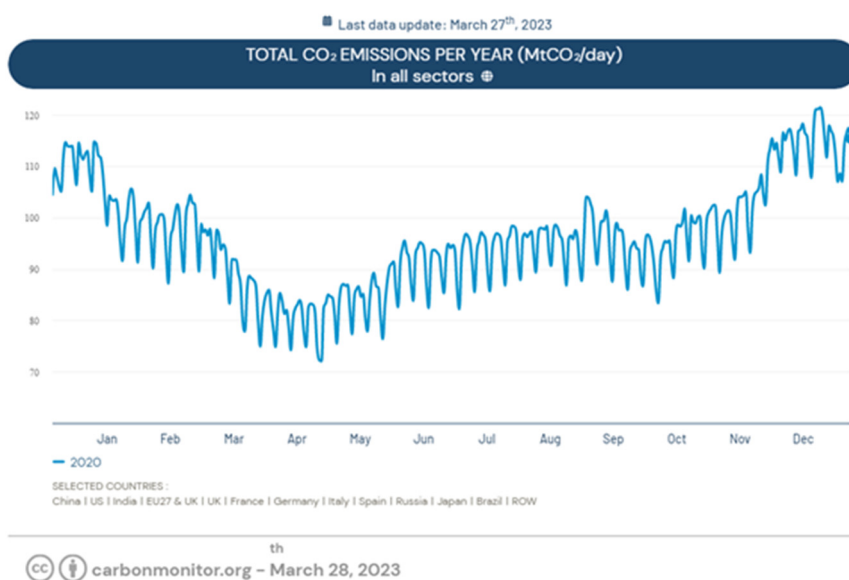
Európsky parlament (2023) definuje obehové hospodárstvo ako „model výroby a spotreby, ktorý zahŕňa zdieľanie, prenájom, opätovné použitie, opravu, renováciu a recykláciu existujúcich materiálov a výrobkov tak dlho, ako je to možné. Týmto spôsobom sa predlžuje životný cyklus výrobkov“. Výhody vytvorenia obehového hospodárstva a jeho podpory aj v spoločnosti sú značné: menej odpadu, vyššia efektívnosť, úspory pre spotrebiteľov, zníženie nákladov v dlhodobom horizonte, nové pracovné miesta pre špecifiká tohto hospodárstva; riešenie nedostatku a vysokej ceny niektorých surovín; rozvoj nových priemyselných odvetví, a tým prispievanie k zvyšovaniu hrubého domáceho produktu.

Znečistenie ovzdušia, vody a pôdy patrí medzi najzávažnejšie problémy, ktoré ovplyvňujú nielen budúce generácie, ale aj všetkých, ktorí žijú v súčasnosti, pretože spôsobujú mnohé zdravotné problémy (Svetová zdravotnícka organizácia, 1982; Rodrigues a Römkens, 2018; Righi a kol., 2005; Little, 2003; Kampa a Castanas, 2008; Európska environmentálna agentúra,



2022). Dýchanie znečisteného vzduchu a konzumácia potravín vypestovaných na znečistenej pôde alebo v znečistených vodách sú aspekty, ktorým nemôžeme uniknúť. Mali by sme si uvedomiť ich závažnosť a urobiť všetko pre to, aby sme znížili negatívny vplyv, ktorý ako jednotlivci alebo podniky vytvárame. A tu prichádza úloha udržateľných podnikov, ktoré by mali byť podporované spotrebiteľmi, ktorí by mohli svoje spotrebiteľské návyky orientovať na zodpovedné podniky. Vlády a súkromné iniciatívy (mimovládne organizácie, podniky) by mali pripraviť vzdelávacie kampane na zvýšenie povedomia v spoločnosti.

Podľa Európskej environmentálnej agentúry (2023) by v roku 2020 mohlo byť v Európe 238 000 úmrtí spôsobených znečistením ovzdušia. Rok 2020 je rokom, v ktorom všetky obmedzenia zavedené počas výluky (marec – máj 2020) znížili znečistenie na celom svete, ako je znázornené na obr. 1. V predchádzajúcom roku bolo zaznamenaných 364 200 úmrtí (Európska environmentálna agentúra, 2021).



**Obr. 1:** Vývoj emisií CO<sub>2</sub> v roku 2020.

Zdroj: Carbon Monitor (<https://carbonmonitor.org/>)

Podľa Európskej environmentálnej agentúry (2019) má znečistenie ovzdušia zásadný vplyv na zdravotné problémy, ako sú kardiovaskulárne ochorenia, rakovina pľúc, úzkosť, zápal, alergie, astma a reprodukčné problémy. Vzhľadom na tieto problémy spôsobené znečistením ovzdušia, vláda a súkromné subjekty vytvorili senzorové siete na monitorovanie kvality ovzdušia, a tak prijali príslušné opatrenia.

V nasledujúcej časti sa bude hovoriť o ďalších súkromných iniciatívach zameraných na udržateľné podniky, ktoré prispievajú k čistejšiemu a zdravšiemu svetu, pričom sa berie do úvahy životné prostredie, ľudia a ziskovosť (tri piliere udržateľnosti), pričom ich základom je súčasnosť a budúcnosť. Výhody udržateľných podnikov a ich úloha pre spoločnosť ako celok spočívajú vo väčšej konkurenčnej výhode, lepšej výkonnosti a riešení niektorých problémov, ktoré vznikli v dôsledku krízy, ako je pandémia COVID-19 (Mattera a kol., 2022). Prínos vytvárania konkurenčných výhod je životne dôležitý aj pre malé a stredné podniky, pre ktoré môže mať významný vplyv. Cantele a Zardini (2018) preukázali pozitívny vzťah medzi udržateľnými iniciatívami a finančnými výsledkami, sprostredkovaný konkurenčnou výhodou. Udržateľné podniky sú teda konkurencieschopnejšie a majú lepšie finančné výsledky. Rigby a Tager (2008) považujú udržateľnosť za stratégiu rastu podnikov.

Ciele ako znižovanie emisií, znižovanie znečistenia, používanie udržateľných materiálov a udržateľní partneri prinášajú výhody, ako napr.:

- lepší obraz v komunite,
- prilákanie väčšieho množstva zákazníkov a kvalitných zamestnancov,
- väčšiu dôveryhodnosť pre svojich partnerov,
- daňové výhody poskytované vládou na podporu takéhoto správania a iniciatív,
- vyššie zisky (z dlhodobého hľadiska).

Aby boli udržateľné podniky úspešné, spotrebitelia by si mali viac všimnúť tieto typy podnikov a kupovať od nich výrobky a služby. Tu sa ukazuje dôležitosť a nutnosť vzdelávacích kampaní, ktoré prispievajú k zvyšovaniu úrovne povedomia v komunite, vedú k vzdelanejším, informovanejším a zodpovednejším občanom, a teda aj kupujúcich a podnikateľov. Mnohé štúdie v odbornej literatúre zdôrazňujú úlohu vzdelávania pri podpore udržateľnosti v podnikaní a v komunite všeobecne (Calder a Dautremont-Smith, 2009; Rowe, 2007; Hill a Lee, 2012).

Hill a Lee (2012) skúmali spotrebiteľov generácie Y, ktorých vnímanie udržateľnosti je ovplyvnené ich znalosťami o týchto otázkach.

Aby boli udržateľné podniky dlhodobo ziskové a efektívne, podnikatelia by mali byť kreatívni (generovať nové a skvelé nápady) a inovatívni (zameraní na novosť a užitočnosť). Udržateľnosť a inovatívnosť v podnikaní zabezpečujú vyššie konkurenčné výhody, vyššie šance na prežitie v krízových situáciách, lojalitu spotrebiteľov a väčší podiel na trhu. Udržateľnosť a inovácie v podnikaní sú predmetom rozsiahleho výskumu (Todeschini et al., 2017; Evans et al., 2017; Shakeel et al., 2020; Seebode et al., 2012; Borkovskaya, 2013). Ako uvádzajú Shakeel et al. (2020), „inovácia podnikateľského modelu je budúcnosťou na riešenie problémov udržateľnosti“. Seebode a i. (2012) oceňujú, že inovácie sú potrebné na zvládnutie „rastúcich tlakov a vznikajúcich príležitostí v agende „udržateľnosti“.

Existuje mnoho príkladov dobrej praxe inovatívnych a udržateľných podnikov, ktoré sa zameriavajú na riešenie niektorých problémov uvedených v 17 cieľoch trvalo udržateľného rozvoja:

- **Bio-bean** (<https://www.bio-bean.com/>) je britská spoločnosť, ktorá využíva kávovú usadeninu od rôznych partnerov a zvyšuje jej hodnotu. Kávovú usadeninu spracúva a vytvára z nej kávové polená a pelety, prírodné kávové arómy a suroviny pre viaceré priemyselné odvetvia, ktoré hľadajú ekologickejšie alternatívy pre svoje podniky.
- **Fairphone** (<https://www.fairphone.com/>) je holandská spoločnosť, ktorá ponúka telefóny vyrobené z recyklovaných a udržateľných komponentov. Telefóny majú ľahko opraviteľný dizajn a na prvom mieste sú pre nich ľudia a planéta. Základnou hodnotou ich podnikania je férovosť.
- **Studio Roosegaarde** (<https://www.studioroosegaarde.net/>) je holandské výskumné laboratórium zamerané na tvorbu udržateľných projektov, ako sú Smog Free Tower, Smog Free Ring a Smog Free Bicycle (zamerané na zníženie znečistenia a čistenie ovzdušia); Spark (organický ohňostroj), Space Waste Lab (čistenie odpadu z vesmíru a jeho recyklácia); Seeing Stars (zameraný na zvyšovanie povedomia o znečistení miest); Grow (využívajúci špecifické svetlo, ktoré pomáha rastlinám rásť a ľuďom ho spríjemňuje ako formu umenia).
- **Eonef** (<http://eonef.com/>) je francúzska spoločnosť zameraná na dodávanie solárnych balónov do regiónov bez elektrickej energie a balónov vybavených senzormi a kamerami na monitorovanie kvality ovzdušia alebo zisťovanie požiarov (Lampoon Magazine, 2023).

- **Groasis** (<https://www.groasis.com/>) je holandská spoločnosť zameraná na premenu vyprahnutých oblastí na živú pôdu pomocou efektívnych technológií, šetrenia vodou a zohľadňovania špecifik týchto oblastí. Niektoré z ich výrobkov sú Groasis Waterboxx (šetrí vodu a pomáha rastlinám rásť bez zavlažovania), Groasis Growboxx (pomáha rastlinám rásť v horských oblastiach), Growsafe Telescoprotexx (chráni rastliny pred požíraním zvieratami), Groasis Capillary Drill (rýpadlá špeciálne pre púštne oblasti) alebo Groasis Terracedixx (na efektívnejšie využívanie dažďovej vody).
- **Demetra** (<https://www.demetrafood.it/>) je talianska potravinárska spoločnosť „odhodlaná znížiť emisie znečisťujúcich látok a separovať zber odpadu“.
- **Partnerstvo John Lewis** (<https://www.johnlewispartnership.co.uk/>) zahŕňa dva veľké britské maloobchodné reťazce John Lewis a Waitrose. Toto partnerstvo v roku 2020 oznámilo svoj „záväzok dosiahnuť čisté nulové emisie uhlíka“ do roku 2050 používaním biometánu ako paliva pre svoje dodávky.
- **Nemecká nadácia pre vodu** (<https://www.wasserstiftung.de/>) vyvinula technológiu CloudFisher, ktorá by mohla premeniť hmlu na bezpečnú pitnú vodu.
- **Spoločnosť Sheep Inc.** (<https://eu.sheepinc.com/>) ponúka oblečenie vyrobené z vlny z ovčích fariem na Novom Zélande. Ich kampaň „Kúp si sveter, adoptuj ovцу“ informuje ľudí o tom, odkiaľ ich oblečenie pochádza. Aj pomocou NFC štítku, ktorý majú všetky odevy tejto spoločnosti, môžu spotrebiteľia zistiť viac informácií o zakúpených výrobkoch, vlně, ovciach, z ktorých pochádza, farme pôvodu a ďalšie informácie, vďaka ktorým si ľudia uvedomujú, aká je ich uhlíková stopa (Malachosky, 2022).
- **Rimping**, supermarket v Thajsku, začal v roku 2019 používať banánové šupky na balenie ako udržateľnejší spôsob využitia materiálov, ktoré by sa inak vyhodili, a tým znížil množstvo plastov (Nace, 2019).

Svet čelí mnohým sociálno-ekonomickým výzvam, a preto má vlády, súkromné organizácie, mimovládne organizácie a občania viac príležitostí konať zodpovednejšie a udržateľnejšie pri riešení niektorých z týchto problémov. Podobne aj všetkých 17 cieľov udržateľného rozvoja v Agende 2030 predstavuje možnosti, ktoré sa môžu premietnuť do verejných a/alebo súkromných iniciatív na zníženie zmeny klímy a zabezpečenie rovnakých práv pre všetkých. Udržateľné podniky ponúkajú výhody pre svoje komunity a významné prínosy pre spoločnosti.

Podnikateľský svet sa mení, ale sú potrebné aj vzdelávacie kampane na zvýšenie povedomia o zmene klímy, globálnom otepľovaní, chudobe, hlade a nerovnosti a na vytvorenie informovanejších spotrebiteľov a podnikateľov. Všetci sme zodpovední za kvalitu životného prostredia, v ktorom žijeme, a máme povinnosť zanechať budúcim generáciám čistý vzduch, vodu a pôdu.

Sme v situácii, keď neexistuje radikálne riešenie, ktoré by úplne zastavilo znečisťovanie ovzdušia, ale existujú riešenia na zníženie emisií určitých látok znečisťujúcich ovzdušie.

Podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 2016/2284 zo 14. decembra 2016 o znížení národných emisií určitých látok znečisťujúcich ovzdušie musí Rumunsko do roku 2030 výrazne znížiť emisie NO<sub>x</sub> (oxidov dusíka), VOC<sub>nm</sub> (nemetánových prchavých organických zlúčenín), SO<sub>2</sub> (oxidu siričitého), NH<sub>3</sub> (amoniaku) a PM<sub>2,5</sub> (jemných suspendovaných častíc) o 60 %, 45 %, 88 %, 25 % a 58 % (v porovnaní s rokom 2005).

Môžeme sa pýtať, ako môžu tieto emisie existovať v ovzduší a aký je ich pôvod. Ako si dávať pozor? Máme slobodnú vôľu nevdychovať tieto emisie do tela?

Prostredníctvom krátkej prezentácie si môžeme na uvedené otázky odpovedať:

- NO<sub>x</sub> (oxidy dusíka) vznikajú predovšetkým v elektrárňach, vozidlách a pri priemyselných a domácich spaľovacích procesoch. Hlavnou príčinou je cestná doprava;

- VOC (prchavé organické zlúčeniny) – vznikajú pri výrobe farieb, lakov, voskov, rozpúšťadiel rozpúšťajúcich oleje, čistiacich prostriedkov, palív, dezinfekčných prostriedkov, kozmetiky a lepidiel; tieto zlúčeniny môžu vznikáť aj pri fajčení a spaľovaní palív;
- SO<sub>2</sub> (oxid siričitý) – je výsledkom vykurovacích systémov obyvateľstva, ktoré nevyužívajú metán, tepelných elektrární, priemyselných procesov (oceliarstvo, rafinéria, výroba kyseliny sírovej), celulózového a papierenského priemyslu;
- NH<sub>3</sub> (amoniak) – je výsledkom najmä chovu hydiny a ošípaných;
- PM<sub>2,5</sub> (jemné suspendované častice) – vznikajú pri spaľovaní benzínu, oleja, nafty alebo dreva.

Vieme teda, ako sa tieto emisie vyskytujú v ovzduší a odkiaľ pochádzajú, ale môžeme mať slobodnú vôľu tieto emisie nevdychovať?

V ďalšej časti sa pozrieme na situáciu ohľadom znečistenia ovzdušia a jeho monitorovania a ochrany v Rumunsku. Podľa Národného programu kontroly znečistenia ovzdušia Rumunska má Ministerstvo životného prostredia, vôd a lesov významnú úlohu v oblasti hodnotenia kvality okolitého ovzdušia, keďže je príslušným orgánom, ktorý spolu s ústrednými orgánmi štátnej správy koordinuje vypracovanie a vykonávanie Národného programu kontroly znečistenia ovzdušia *Atmosférické znečistenie*. Ministerstvo životného prostredia, vôd a lesov v spolupráci s významnými orgánmi verejnej správy s pôsobnosťou v oblasti hospodárstva, energetiky, zdravotníctva, poľnohospodárstva, rozvoja vidieka, hygienicko-veterinárnej a potravinovej bezpečnosti, regionálneho rozvoja a verejnej správy a dopravy stanovuje opatrenia na každoročné zníženie národných antropogénnych emisií SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, NH<sub>3</sub> a PM<sub>2,5</sub> tak, aby neboli prekročené záväzky prijaté na národnej úrovni na zníženie emisií. Ten istý Národný program kontroly znečisťovania ovzdušia potvrdzuje, že emisie sa už výrazne znížili, najmä emisie SO<sub>2</sub>, ktoré boli v roku 2020 v porovnaní s rokom 2005 nižšie o približne 88 %, ďalej sa znížili emisie NO<sub>x</sub> (o približne 42 %), VOC (o približne 30 %), NH<sub>3</sub> (o približne 19 %) a PM<sub>2,5</sub> (o 7 %). Pokrok dosiahnutý vďaka platným politikám a opatreniam, hodnotený vzhľadom na historické emisie nahlásené na rok 2020 a referenčný rok 2005, teda naznačuje klesajúci trend pre všetky znečisťujúce látky a dodržiavanie záväzkov na zníženie emisií VOC, SO<sub>2</sub> a NH<sub>3</sub>. V roku 2020 sú záväzky na zníženie emisií prekročené v prípade NO<sub>x</sub> (približne o 3 %) a PM<sub>2,5</sub> (približne o 21 %).

V číslach to síce „znie“ dobre, ale pocity stále nie sú príjemné. Inými slovami, nemáte ten pocit radostného očakávania, ktorý by vás prinútil vyjsť von z domu a zhlboka sa nadýchať veľkého množstva čerstvého vzduchu, pretože vzduch, ktorý dýchame, je napriek všetkým záväzkom, ktoré Rumunsko prijalo, škodlivý. „Prijalo“ – prečo máme pocit, že toto slovo nás stopercentne nechráni? Naopak, vyvoláva v nás stav nepokoja, ale zároveň si nemôžeme pomôcť. Ľudská povaha sa v priebehu rokov vyvíjala, čo ale zároveň neznamená, že pud sebazáchovy je nadovšetko.

Ako sa ľudstvo vyvíjalo, tak postupne spoznalo škodlivé účinky svojej činnosti, počnúc katastrofickou skúsenosťou v Londýne, kedy v období od 5. do 9. decembra 1952 došlo k vážnemu znečisteniu ovzdušia pod názvom „Veľký smog v roku 1952“. V tom období bolo vykurovanie domácností založené prevažne na uhlí a splodiny horenia spolu s hmlou vytvorili vrstvu smogu. Jav, v dôsledku ktorého zomrelo viac ako 4 000 ľudí na srdcovo-cievne a dýchacie choroby. Vychádzajúc z tejto katastrofickej skúsenosti bol v roku 1956 prijatý zákon o čistote ovzdušia, ktorého cieľom bolo znížiť znečistenie ovzdušia vo veľkých britských mestách.

Ďalším príkladom je havária v továrni na pesticídy pri meste Seveso v severnom Taliansku. Do ovzdušia sa pri nej uvoľnil oblak dioxínu, nebezpečnej látky známej svojimi karcinogénnymi účinkami, a to aj v malých dávkach. Nanešťastie, postihnutá oblasť s rozlohou 18 km<sup>2</sup> bola obytnou zónou; s kontaminovaným vzduchom sa tak stretlo 37 000 ľudí. Katastrofa bola taká

veľká, že Rada Európy neskôr vydala jedinečnú smernicu, tzv. smernicu Seveso, ktorá priniesla prísne predpisy pre výrobu a skladovanie približne 80 látok považovaných za veľmi nebezpečné.

Nemôžeme nespomenúť ďalšiu katastrofu známu celému obyvateľstvu, a to černobyľskú katastrofu, keď vybuchol jeden z reaktorov černobyľskej elektrárne na Ukrajine a do atmosféry sa uvoľnilo obrovské množstvo radiácie, ktoré bolo väčšie ako z atómových bômb v Hirošime a Nagasaki.

Napokon v Rumunsku bola príkladom obrovskej katastrofy situácia v meste Copsa Mică, keď mesto pochovalo znečistenie. V meste Copsa Mică boli dve továrne; jedna vyrábala sadze, ktoré sa používali v pneumatikách, a druhá vyrábala zinok, olovo, meď, kadmium a iné farebné kovy. Spoločne vypúšťali 30 000 ton pevných častíc a sadzí ročne.

Ľudstvo skutočne potrebuje elektrárne, cestnú dopravu, čistiace a dezinfekčné prostriedky, oceľ, rafinérie, dokonca aj chovy hydiny a ošípaných atď., ale ako zabezpečiť všetky naše základné potreby bez toho, aby sme ovplyvnili životné prostredie, neznečistili ovzdušie a neovplyvnili nás, ľudí?

Od 16. marca 2023 je v platnosti Priemyselný plán Green Deal (často nazývaný aj Európsky priemyselný plán) iniciatívou EÚ a podporuje prechod na klimatickú neutralitu zvýšením konkurencieschopnosti európskeho priemyslu s nulovými čistými emisiami. V marci boli predstavené tri hlavné návrhy tohto plánu: Zákon o európskych kritických surovinách, Zákon o priemysle s nulovými čistými emisiami a Reforma organizácie trhu s elektrickou energiou. Tieto dokumenty podporia plán vytvorením jednoduchšieho a predvídateľnejšieho regulačného prostredia pre čisté technológie, aby sa mohli začať alebo pokračovať v rozvoji v EÚ. Prínosy európskej zelenej dohody poskytujú podporu pre čerstvý vzduch, čistú vodu, zdravú pôdu a biodiverzitu; zrekonštruované, energeticky účinné budovy; zdravé potraviny za prijateľné ceny; viac možností verejnej dopravy; čistejšiu energiu a čisté, špičkové technologické inovácie; odolnejšie výrobky, ktoré sa dajú opraviť, recyklovať a opätovne použiť; pracovné miesta prispôbované požiadavkám budúcnosti a vzdelávanie v oblasti zručností potrebných pre prechod odolného a globálne konkurencieschopného priemyslu.

Prírodnosťou ľudí je v priebehu času vyvíjať sa, chcieť si uľahčiť svoju existenciu a robiť veľké veci, ktoré pomáhajú nielen nám, ale aj pomáhajú a chránia prostredie, v ktorom žijeme. Nemôžeme sa nepýtať, či existuje právny rámec týkajúci sa kvality ovzdušia, či verejnosť pozná informácie alebo zhromaždené údaje o kvalite okolitého ovzdušia, alebo či Rumunsko dodržiava dohody, dohovory alebo zmluvy, ktorých je zmluvnou stranou.

Európske predpisy sú ako právny rámec týkajúci sa kvality ovzdušia plne transponované do vnútroštátnej legislatívy prijatím zákona č. 104/2011 o kvalite okolitého ovzdušia s následnými zmenami a doplnkami (ustanovenými nariadením GD č. 806/2016 o zmene a doplnení príloh č. 1 a 2), 4, 5, 6 a 7 k zákonu č. 104/2011 o kvalite okolitého ovzdušia. Podľa ustanovení čl. 2 zákona č. 104/2011 o kvalite okolitého ovzdušia tento zákon ustanovuje opatrenia na vnútroštátnej úrovni, týkajúce sa:

- definovania a stanovenia cieľov kvality okolitého ovzdušia určených na predchádzanie a prevenciu výskytu škodlivých udalostí a zníženie ich účinkov na ľudské zdravie a životné prostredie ako celok;
- hodnotenia kvality okolitého ovzdušia v celej krajine na základe štandardných metód a kritérií stanovených na európskej úrovni;
- získavania informácií o kvalite okolitého ovzdušia na podporu procesu boja proti znečisteniu ovzdušia a nepríjemným pocitom z neho, ako aj na monitorovanie

dlhodobých trendov a zlepšení vyplývajúcich z opatrení prijatých na vnútroštátnej a európskej úrovni;

- zaručenia sa, aby boli informácie o kvalite okolitého ovzdušia dostupné verejnosti;
- udržiavania kvality okolitého ovzdušia tam, kde je to vhodné, a/alebo jej zlepšovanie v ostatných prípadoch;
- podpory intenzívnejšej spolupráce s ostatnými členskými štátmi Európskej únie s cieľom znížiť znečistenie ovzdušia;
- plnenia záväzkov vyplývajúcich z dohôd, dohovorov a medzinárodných zmlúv, ktorých je Rumunsko súčasťou.“

Aj podľa ustanovení čl. 55 ods. 1 zákona č. 104/2011, ak je prekročená niektorá z výstražných prahových hodnôt, limitných hodnôt alebo cieľových hodnôt, zvýšená o príslušnú medzu tolerancie alebo dlhodobý cieľ, v dôsledku cezhraničného prenosu látok znečisťujúcich ovzdušie alebo ich prekursorov, ústredný orgán štátnej správy pre ochranu životného prostredia spolupracuje priamo s partnerským orgánom zo susedných členských štátov Európskej únie alebo prostredníctvom ústredného orgánu štátnej správy pre vykonávanie zahraničnej politiky rumunského štátu s partnerským orgánom zo susedných štátov, ktoré nie sú členmi Európskej únie, a v prípade potreby stanoví spoločné opatrenia, ako je vypracovanie spoločných alebo vzájomne súvisiacich plánov kvality ovzdušia, na odstránenie týchto prekročení uplatnením vhodných opatrení, ktoré si nevyžadujú neprimerané náklady. V neposlednom rade ods. 4 čl. 55 zákona č. 104/2011 stanovuje, že „v prípade prekročenia informačného prahu a/alebo výstražného prahu v oblasti alebo aglomerácii v blízkosti hraníc ústredný orgán štátnej správy pre ochranu životného prostredia čo najskôr informuje príslušné orgány dotknutých susedných členských štátov Európskej únie.“

Vychádzajúc z túžby mať niečo hmatateľné, vidieť v číslach, vidieť diagram, vidieť konkrétne a správne údaje, Univerzita v Craiove, Katedra vied v spolupráci s Univerzitou vedy a techniky Adana Türkeş Alparslan, Univerzitou z Plovdivu „Paisii Hilendarski“ a Univerzitou Mateja Bela v Banskej Bystrici v rámci projektu Erasmus+ s názvom „Uplatňovanie niektorých pokročilých technológií vo výučbe a výskume v súvislosti so skúmaním znečistenia ovzdušia „, ponúka študentom možnosť naučiť sa, ako zostrojíť senzor na monitorovanie ovzdušia, ako aj to, ako tieto senzory pracujú a ako môžu upozorniť na zhoršenie kvality ovzdušia.

Senzory na monitorovanie kvality ovzdušia nám pomáhajú, a to tak jednotlivcom (keďže si takýto senzor môžeme zakúpiť aj do svojej domácnosti), ako aj právnickým osobám (napríklad verejným inštitúciám) mať prehľad o kvalite ovzdušia. Vytvorenie a existencia týchto senzorov v našom každodennom živote je vzhľadom na vysokú mieru znečistenia ovzdušia, ktorej čelíme, nevyhnutná.

Táto publikácia prezentuje predstavy učiteľov o úlohe technológií v procese vyučovania a učenia sa. Zároveň je výmenou osvedčených postupov a nápadov niektorých ľudí, ktorí sa podieľajú na vzdelávaní študentov technických a prírodovedných odborov zo štyroch univerzít – UCv, PU, UMB a ATU.

Cieľom publikácie je pomôcť študentom oboznámiť sa s niektorými technológiami zameranými na monitorovanie životného prostredia, predovšetkým na znečistenie ovzdušia. V častiach opisujúcich experimentálne vybavenie je uvedený postup na výrobu senzora počnúc niektorými elektronickými súčiastkami, ako ho naprogramovať, zapojiť do siete a tiež je opísané ako senzor prenáša údaje do veľkej siete nezávislej od senzora. Rovnako je priestor venovaný aj opisu získavania údajov zaznamenaných jednotlivými senzormi, postupom ako možno údaje organizovať a vizualizovať a spôsobom analýzy získaných súborov údajov.

Vedomosti, najmä experimentálne zručnosti, sú pre budúcich inžinierov a absolventov prírodných vied nevyhnutné.

V 1. kapitole je uvedený stručný opis súpravy senzorov, ktorými možno merať teplotu vzduchu. V tejto kapitole je opísaná úloha a zapojenie jednotlivých komponentov. Druhá kapitola sa zameriava na praktickú realizáciu niektorých činností využívajúcich senzory na meranie slnečného žiarenia. Uvádza sa v nej spôsob pripojenia elektronických komponentov k hlavnej doske obsahujúcej mikrokontrolér typu Arduino. V tejto súvislosti sa hodnotia niektoré možnosti vzdelávania. V tretej kapitole je popísaná konštrukcia jednoduchého senzora na meranie hladiny akustického tlaku a niekoľko praktických aktivít využívajúcich tento senzor na meranie hluku. Štvrtá kapitola sa zaoberá tým, ako si môžeme skonštruovať jednoduchý GM počítač a ako sa môžeme chrániť pred účinkami žiarenia. Piata kapitola predstavuje meteorologickú stanicu, šiesta kapitola sa venuje senzoru na monitorovanie kvality ovzdušia. Siedma kapitola sa zaoberá problémami 3D tlače pri konštrukcii puzdra na ochranu senzora pred prírodnými živlami. V kapitolách 8, 9 a 10 sa diskutuje o úlohe nezávislej siete senzorov v rámci vzdelávacích iniciatív pre občanov, pričom sa zdôrazňujú výhody týchto senzorov ale aj ich obmedzenia pri meraní pri vzdelávaní budúcich inžinierov a absolventov prírodných vied. Porovnajú sa laboratórne metódy merania so senzormi s meraniami, ktoré vykonávajú niektoré oficiálne stanice na monitorovanie kvality ovzdušia. V týchto kapitolách je opísaný aj postup získavania a spracovania zozbieraných údajov v rámci štúdie z Adany.

Publikácia taktiež obsahuje stručný opis viacerých laboratórných aktivít. Každá laboratórna aktivita obsahuje teoretickú časť, v ktorej sú vysvetlené pojmy potrebné na pochopenie každej laboratórnej aktivity, cieľ, úlohy, stručný opis laboratórnej zostavy použitej na meranie, jej nastavení, postup merania, spôsob práce. Aktivity obsahujú aj upozornenia na problémy, ktoré môžu nastať pri používaní zariadení, popisujú zber a analýzu údajov, prepojenie s reálnym životom a praxou a nakoniec aj diskutujú problémy a závery súvisiace so skúmanou problematikou.

## Literatúra

1. Bio-bean. Available online at <https://www.bio-bean.com/> (Accessed on 23 March 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. Available online at <http://ulsf.org/wp-content/uploads/2015/06/ESDHigherEdAmericaCalder20091.pdf> (Accessed on 31 March 2023)
4. Cambridge Academic Dictionary Content (n.d.). Entrepreneur Definition. Available online at <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/entrepreneur> (Accessed on 25 March 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. Available online at <https://carbonmonitor.org/> (Accessed on 29 March 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. Available online at <https://www.demetrafood.it/> (Accessed on 23 March 2023)
9. Eonef. Available online at <http://eonef.com/> (Accessed on 23 March 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. Available online at <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives> (Accessed on 29 March 2023)
12. European Environment Agency (2021). Air quality in Europe 2021. Health impacts of air pollution in Europe, 2021. Available online at <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/health-impacts-of-air-pollution> (Accessed on 29 March 2023)
13. European Environment Agency (2022). Air pollution: how it affects our health. Available online at <https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution> (Accessed on 29 March 2023)
14. European Environment Agency (2023). Air quality in Europe 2022. Available online at <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022> (Accessed on 29 March 2023)
15. European Parliament (2023). Circular economy: definition, importance, and benefits. Available online at <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits> (Accessed on 28 March 2023)
16. Fairphone. Available online at <https://www.fairphone.com/> (Accessed on 31 March 2023)
17. German Water Foundation. Available online at <https://www.wasserstiftung.de/> (Accessed on 31 March 2023)
18. Groasis. Available online at <https://www.groasis.com/> (Accessed on 31 March 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. Available online at <https://www.johnlewispartnership.co.uk/> (Accessed on 31 March 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. Lampion Magazine (2023). EONEF's tethered balloons: air quality monitoring, wildlife conservation and forest fire detection. Available online at <https://www.lampionmagazine.com/article/2023/02/12/eonefs-tethered-balloons-air-quality-monitoring-wildlife-conservation-and-forest-fire-detection/> (Accessed on 31 March 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. Available online at <https://www.gearpatrol.com/style/a38831352/merino-wool-sheep-inc/> (Accessed on 31 March 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. Available online at <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2019/03/25/thailand-supermarket-uses-banana-leaves-instead-of-plastic-packaging/> (Accessed on 31 March 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., & Römkens, 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. Available online at <https://eu.sheepinc.com/> (Accessed on 25 March 2023)
34. Stephan, U., Hart, M., Mickiewicz, T., & Drews, C. C. (2015). Understanding motivations for entrepreneurship. Available online at [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) (Accessed on 25 March 2023)
35. Studio Roosegaarde. Available online at <https://www.studioroosegaarde.net/> (Accessed on 31 March 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. Available online at <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (Accessed on 27 March 2023)
38. United Nations (n.d.). Sustainable Development. Available online at <https://www.un.org/ecosoc/en/sustainable-development> (Accessed on 27 March 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) (Accessed on 7 April 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) (Accessed on 7 April 2023)
42. <https://www.digi24.ro/stiri/sci-tech/natura-si-mediu/cele-mai-mari-catastrofe-ecologice-din-romania-si-din-lume-993038> (Accessed on 7 April 2023)
43. <https://adevarul.ro/stiri-locale/hunedoara/secretele-oraselor-toxice-din-romania-comunista-2027764.html> (Accessed on 7 April 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) (Accessed on 7 April 2023)
45. <https://lege5.ro/App/Document/gi2tqmjzqg/legea-nr-104-2011-privind-calitatea-aerului-inconjurator> (Accessed on 7 April 2023)

# 1. KAPITOLA. VYSOKO PRESNÉ MERANIE TEPLoty VZDUCHU SENZORMI RTD PT100

*Autorom kapitoly je Rumen Popov  
z Univerzity Paisii Hilendarski v Plovdive, Bulharsko*

## 1.1. Trochu teórie na úvod

### 1.1.1. Meranie teploty pomocou odporových teplotných senzorov (RTD)

Princíp činnosti odporového teplotného detektora (RTD) je založený na vlastnosti elektricky vodivých materiálov meniť svoj elektrický odpor [1] pri zmene teploty. Najširšie uplatnenie pri výrobe RTD našli čisté kovy. Vzťah určuje ich rezistivitu  $\rho$ , pre ktorú platí vzťah (1):

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

kde:

- $n_e$  [ $m^{-3}$ ] je počet voľných elektrónov na jednotku objemu,
- $e$  [C] je náboj elektrónu,
- $\mu_e$  [ $m^2/Vs$ ] je pohyblivosť elektrónov, ktorá sa číselne rovná rýchlosti, ktorú by mali v elektrickom poli jednotkovej intenzity.

Rezistivita  $\rho$  kovov je pomerne malá, od  $10^{-10} \Omega m$  do  $10^{-5} \Omega m$ . Je to spôsobené vysokou koncentráciou elektrónov, ktorá nezávisí od teploty.

Pri všetkých teplotách závisí  $\rho$  od fluktuácií kryštálovej mriežky a je podmienená pohyblivosťou elektrónov a prítomnosťou prímiesí. Preto možno rezistivitu čistých kovov reprezentovať v tvare:

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

kde  $\rho_0$  nezávisí od teploty.

### 1.1.2. Odporové teplotné senzory z drahých kovov

Tieto odporové teplotné senzory sa v praxi často používajú vďaka vysokej stabilite ich parametrov a vysokej reprodukovateľnosti výsledkov merania. Používajú sa najmä platinové pre teploty od 10 K do 1 200 K a titánové pre nízke teploty.

Platina do teploty 1800 K nevstupuje do chemických reakcií a zachováva si svoje vlastnosti. V dôsledku vplyvu niekoľkých procesov – difúzie, zmeny štruktúry atď. je použitie platiny odporových senzorov v niektorých prostrediach obmedzené na nižšie teploty (do 1200 °C). Platina má relatívne vysokú rezistivitu. Závislosť odporu  $R_\theta$  od teploty  $\theta$  v pomerne širokom rozsahu teplôt (pre teploty nad 0 °C) je dostatočne presne opísaná Callenderovým vzorcom:

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

kde  $R_0$  je odpor pri 0 °C, A a B sú konštanty, ktoré sa zvyčajne určujú z odporov termistora, nameraných v troch referenčných bodoch medzinárodnej teplotnej stupnice.

Podľa normy BDS 10726-73 sa konštanty A a B určujú meraním odporu pri trojnóm bode vody  $\theta_{tp} = 0,01$  °C, pri bode varu vody  $\theta_k = 100$  °C a pri bode tuhnutia zinku  $\theta_{zn} = 419,58$  °C.

Pri teplotách od 0 do -200 °C je závislosť odporu  $R_\theta$  od teploty  $\theta$  opísaná vzťahom:

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

Tu sú konštanty A a B ako v rovnici (3) a konštantka C je určená pri teplote varu kyslíka  $\theta_{O_2} = -182,97 \text{ }^\circ\text{C}$ . Podľa BDS 10713-73 môžu mať konštanty hodnoty  $A = (3,90785 \div 3,9685) \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $B = -(5,875 \div 5,85) \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ ,  $C = 4,2 \cdot 10^{-12} \text{ }^\circ\text{C}^{-4}$ .

Pri prepočtoch presných teplomerov sa musia hodnoty uvažovaných konštánt určiť individuálne. Z rovnice (4) vyplýva, že:

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

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

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

kde  $R_k$ ,  $R_{Zn}$  a  $R_{O_2}$  sú odpory pri teplote varu vody  $\theta_k$ , tuhnutia zinku  $\theta_{Zn}$  a varu kyslíka  $\theta_{O_2}$ . Teplota  $\theta_k$  sa môže líšiť od hodnoty  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  a to v závislosti od atmosférického tlaku, nadmorskej výšky a zemepisnej šírky. Potom sa odpor  $R_{100}$  pri teplote  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  získa zo vzťahu:

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

Odpor  $R_0$  pri  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  sa určí buď meraním odporu odporového senzora pri teplote topenia ľadu, alebo v konkrétnom zariadení, ktoré reprodukuje trojný bod vody  $\theta_{tr} = 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$ . V druhom prípade (ak sa vyžaduje zvýšená presnosť) je potrebné znížiť výsledný odpor  $R_{tr}$  podľa výrazu:

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

V prakticky dôležitom prípade, keď je známe  $R_\theta$ , potom možno aktuálnu teplotu  $\theta$  určiť podľa rovnice (10) pomocou súčtu dvoch zložiek  $\theta_1$  a  $\theta_\Delta$  rovnice (11) a rovnice (12):

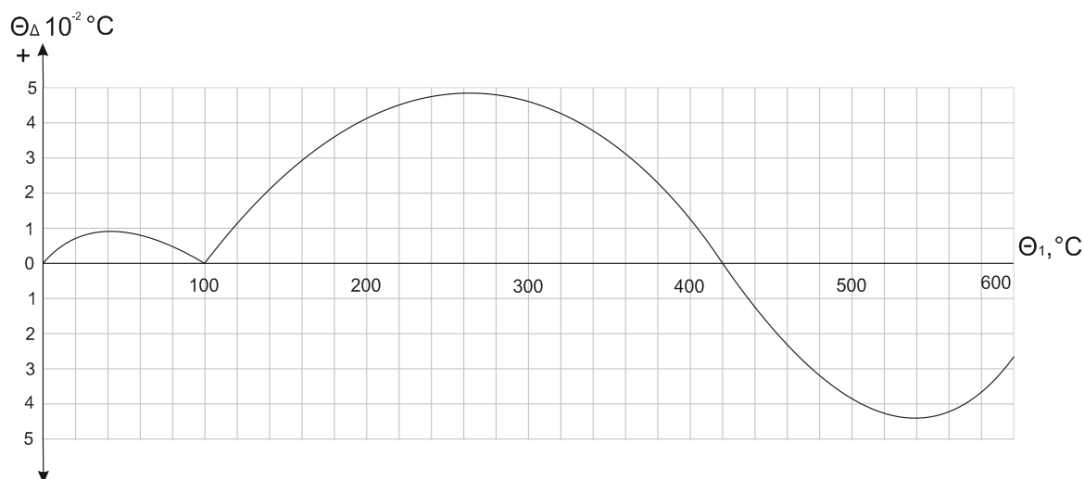
$$\theta = \theta_1 + \theta_\Delta \quad (10)$$

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

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

kde  $A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  a  $B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$ .

Obr. 1.1 graficky znázorňuje hodnotu tejto korekcie v závislosti od teploty, vypočítanej pomocou vzťahu (12).



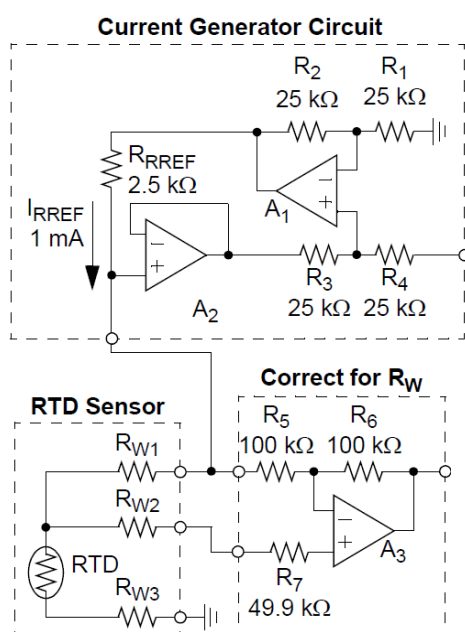
**Obr. 1.1:** Závislosť korekcie  $\theta_\Delta$  od nameranej teploty.

### 1.1.3. Ovládací obvod PRTD

Spoločnosť Microchip Technology navrhla cenovo nenáročné riešenie ovládacieho obvodu PRTD (platinového RTD) s použitím nízkoenergetického operačného zosilňovača MCP609 [2] s jedným napájaním a technológiou rail-to-rail (obr. 1.2). Generátor prúdu realizovaný pomocou A1, A2 a presného zdroja napätia budí senzor. Operačný zosilňovač (A3) ruší chybu  $R_W$  odporu vodiča.

Konštrukcia znázornená na obr. 1.2 bola použitá pri vývoji ovládacieho obvodu PRTD na rozširujúcej karte. Hlavnými dôvodmi boli nízka cena, jednoduchá štruktúra a flexibilná modulárna konštrukcia. Každý zo štyroch analógových vstupných kanálov DAQ-karty je multiplexovaný po 8, pričom sa používajú dva samostatné multiplexory – jeden na prepínanie zdroja prúdu na buď RTD a druhý na prepínanie výstupného napätia na analógový vstupný kanál DAQ-karty.

Vyššie opísaná štruktúra osemkanálového multiplexovaného prevodníka signálu je úplne vhodná pre dosku LabJack UE9 DAQ.



Obr. 1.2: Ovládací obvod RTD s operačným zosilňovačom podľa [2].

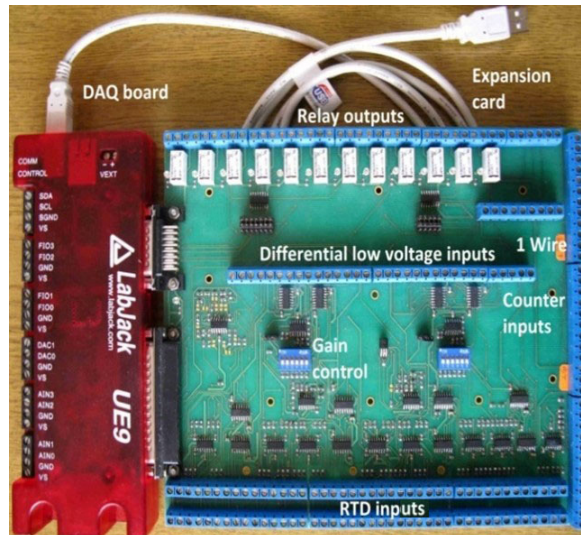
### 1.1.4. DAQ karta

Data Acquisition (DAQ) Board, často nazývaná DAQ karta alebo DAQ modul, je zariadenie, ktoré sa používa na získavanie analógových a digitálnych údajov z rôznych snímačov, meracích prístrojov a zariadení a ich prevod do digitálnej podoby na analýzu a spracovanie v počítači. Veľký počet meracích bodov si vyžaduje použitie viackanálového prístroja. Na tento účel bola vyvinutá „Rozširujúca karta“. Umožnila (obr. 1.3) rozšíriť počet analógových kanálov, ktoré poskytuje náš DAQ modul LabJack UE9 [3], a to nasledovne:

- 32 teplotných kanálov Pt100 3-vodičových odporových senzorov,
- 16 diferenciálnych nízkonapäťových vstupných kanálov (pre jednosmerné prúdy, prístroje na meranie slnečného žiarenia, termočlánky atď.),
- až 128 senzorov teploty DS1820 alebo vlhkosti (1-vodičové rozhranie),
- 10 vstupných kanálov jednosmerného napätia (pre výstupy meračov ACV, ACA),
- 8 vstupov čítačov (pre prietokomery a merače energie).

Okrem toho je k dispozícii 12 reléových výstupov a 8 výstupov na úrovni TTL na ovládanie záťaží.

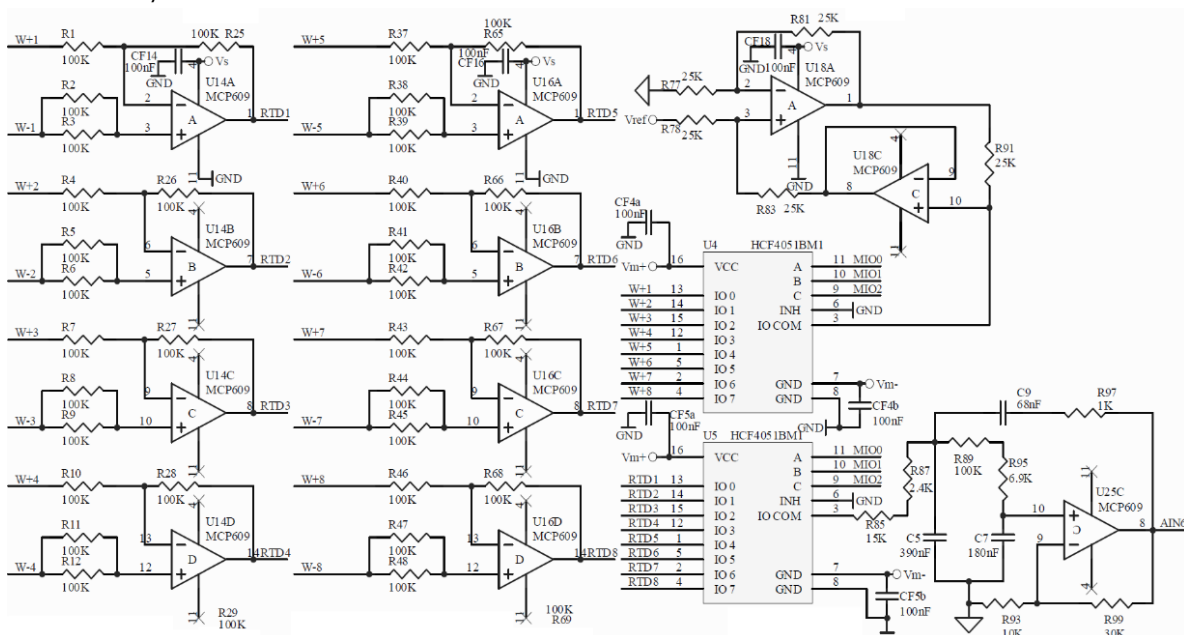
Trojvodičový RTD front-end bol pripojený k štyrom existujúcim analógovým napäťovým kanálom DAQ 8-násobným multiplexovaním, aby sa získalo 32 RTD kanálov. Na obr. 1.4 je znázornená schéma jednej zo štyroch elektronických sekcií pripojených k analógovému vstupnému kanálu AIN6 dosky DAQ. Rozširujúca karta pozostáva z ďalších troch identických elektronických sekcií pripojených ku kanálom AIN7, AIN8 a AIN9 modulu Lab Jack UE9.



**Obr. 1.3:** Rozširujúca karta a DAQ modul.

(DAQ board = DAQ modul, Relay outputs = reléové výstupy, Expansion card = rozširujúca karta, Differential low voltage inputs = diferenciálne nízkonapäťové vstupy, RTD inputs = vstupy teplotného odporového senzora, Gain control = ovládanie zosilnenia, Counter inputs = vstupy počítadla)

Počet komponentov bol minimalizovaný použitím iba jedného zdroja prúdu pre budenie ôsmich odporových senzorov Pt100 (celkovo štyri na navrhnutej doske). Takisto iba jeden zdroj napätia 2,5 V poskytuje referenčné napätie pre všetkých 32 odporových snímačov signálu, namontovaných na doske.



**Obr. 1.4:** Schéma jednej z 8-kanálových elektronických sekcií ovládacieho obvodu.

Prepínaciu sieť tvoria dva nízkonákladové osemkanálové multiplexory. Pri otvorenom stave prúd generovaný budiacim zdrojom nezávisí od odporu spínača HCF4051 U4. Oba multiplexory sú napájané bipolárnym zdrojom  $\pm 6,3$  V ( $V_m-$  a  $V_m+$ ), ktorý je k dispozícii z LabJack UE9, aby sa zabezpečil celý rozsah spínaného napätia. Vstupný kanál sa adresuje pomocou troch signálov (MIO0, MIO1 a MIO2), ktoré automaticky generuje DAQ modul a softvér dostupný v adresovom poli ovládača LabJack UE9 pre National Instruments LabVIEW.

Výstupný napäťový signál multiplexora U5 (IO COM) na pine č. 3 je filtrovaný dolným priesupom 2. rádu Sallen-Keyovho filtra. Tento filter je nastavený na zosilnenie 7,47 V/V a na medznú frekvenciu 8 Hz. Je vhodný len vtedy, ak sa používa nízka vzorkovacia frekvencia. Ak vzorkovacia frekvencia presahuje 0,33 Hz, musia sa odstrániť kondenzátory C5, C7 a C9, aby sa zabezpečila schopnosť rýchleho prepínania. V tomto prípade sa dodatočne vykonáva softvérová filtrácia.

### 1.1.5. Výpočet odporu odporového snímača RTD

Hodnota odporu odporového snímača  $R_\theta$  závisí od aktuálneho údaju dosky LabJack UE9 DAQ. Vypočíta sa pomocou rovnice (13):

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

kde  $U_{IN\_UE9}$  je aktuálny údaj o napätí na DAQ module LabJack UE9. Hodnota  $R_\theta$  sa dosadí do rovnice (11) na výpočet teploty.

## 1.2. Opis experimentálneho vybavenia

### 1.2.1. Hardvérové komponenty

Laboratórne zariadenie je znázornené na obr. 1.5 a pozostáva z týchto komponentov:

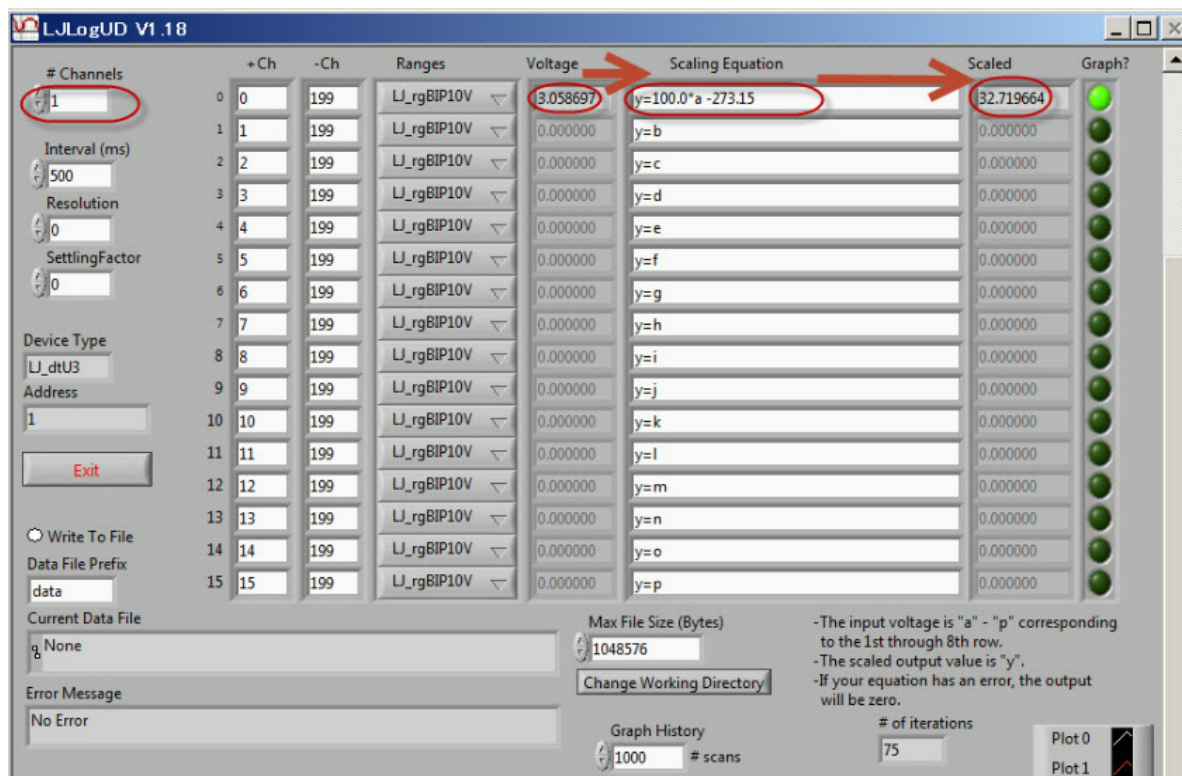
- DAQ modul oLabJack UE9,
- rozširujúca karta,
- 3-vodičový snímač teploty RTD Pt 100, pripojený ku kanálu RTD 1 rozširujúcej karty,
- PC,
- USB kábel.



Obr. 1.5: Nastavenie laboratórných testov.

## 1.2.2. Softvérové vybavenie

Program na zaznamenávanie údajov LJLogUD (obr. 1.6) zhromažďuje údaje o meraní a ukladá výsledky. Umožňuje tiež predbežné spracovanie nameraných údajov pomocou jednoduchých vstavaných rovníc.



Obr. 1.6: Program LJLogUD.

## 1.3. Úlohy

1. Pripojte všetky komponenty laboratórnej skúšobnej zostavy (obr. 1.5).
2. Spustíte program LJLogUD a nakonfigurujete parametre merania, pričom nastavíte vlastnú rovnicu pre meranie  $R_{\theta}$ .
3. Spustíte meranie a uložíte výsledky (približne 20 vzoriek).
4. Importujte údaje (formát \*.csv) do pracovného hárku programu Excel a použijte rovnice (10), (11), (12) a (13) na výpočet teploty vzduchu.
5. Vytvorte graf závislosti teploty od času.
6. Vypracujte správu.

## Literatúra

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> (Accessed on 25 October 2023)

## 2. KAPITOLA. MERANIE ZLOŽIEK SLNEČNÉHO ŽIARENIA

Autorom kapitoly je Rumen Popov  
z Univerzity Paisii Hilendarski v Plovdive, Bulharsko

### 2.1. Trochu teórie na úvod

#### 2.1.1. Priame, rozptýlené a globálne slnečné žiarenie

Priamy slnečný lúč dopadajúci zo slnečného kotúča priamo na zemský povrch sa nazýva **priame slnečné žiarenie**.

**Globálne slnečné žiarenie** predstavuje celkové množstvo slnečného žiarenia dopadajúceho na horizontálny povrch (t. j. priamy slnečný lúč plus rozptýlené slnečné žiarenie na horizontálnom povrchu).

Priame slnečné žiarenie sa pozoruje v čase od východu do západu Slnka, zatiaľ čo globálne slnečné žiarenie sa pozoruje za súmraku pred východom a po západe Slnka, napriek tomu, že v týchto časoch je jeho intenzita menšia.

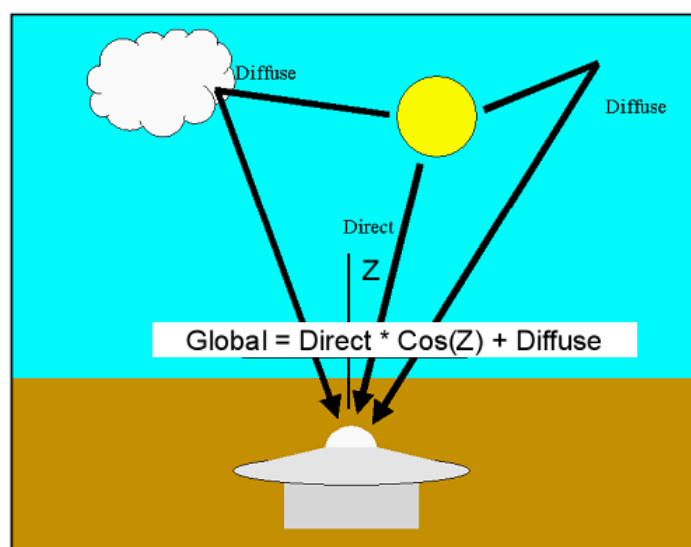
Slnečné žiarenie sa vyjadruje vo wattoch na meter štvorcový ( $W/m^2$ ) a celkové množstvo v jouloch na meter štvorcový ( $J/m^2$ ). Prepočet medzi v súčasnosti používanou jednotkou (SI) a predchádzajúcou jednotkou (kalórie) možno vykonať pomocou nasledujúcich vzťahov:

Slnečné žiarenie:  $1 \text{ kW}/m^2 = 1,433 \text{ cal}/cm^2/\text{min}$

Celkové množstvo solárneho žiarenia:  $1 \text{ MJ}/m = 23,89 \text{ cal}/cm^2$

Hodnota priameho slnečného žiarenia je približne  $120 \text{ W}/m^2$  pri východe a západe Slnka a približne  $800 \text{ W}/m^2$  okolo poludnia za jasného letného dňa.

**Rozptýlené slnečné žiarenie** je slnečné žiarenie, ktoré bolo rozptýlené atmosférou a/alebo povrchom. Tri hlavné zložky slnečného žiarenia, ktoré dopadajú na zemský povrch, sú vzájomne prepojené pomocou rovnice uvedenej na obr. 2.1.



**Obr. 2.1:** Vzťah medzi priamou, globálnou a rozptýlenou zložkou slnečného žiarenia (diffuse = rozptýlený, direct = priamy, global = globálny).



Hodnotu každej z nich môžeme vypočítať, ak poznáme ostatné dve a zenitový uhol priamej zložky Z.

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

kde:

- $I_G$  je globálna intenzita slnečného žiarenia;
- $I_D$  je intenzita priameho slnečného žiarenia;
- $I_{DIF}$  je intenzita rozptýleného slnečného žiarenia;
- Z je zenitový uhol.

Zenitový uhol Z závisí od polohy Slnka vzhľadom na bod merania.

### 2.1.2. Prístroje na meranie

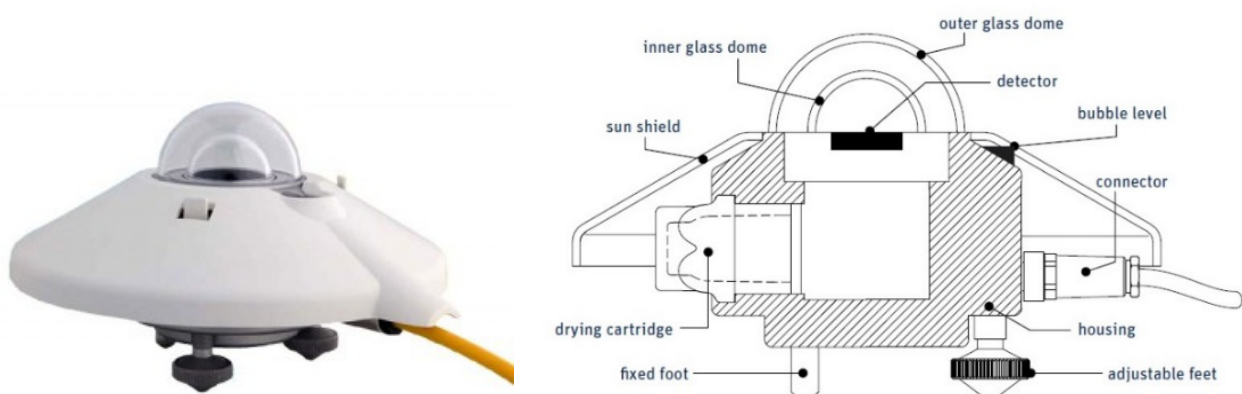
Na bežné pozorovanie sa používajú pyrhelimetre a pyranometre, ktoré merajú priame a globálne slnečné žiarenie. Tieto rádiometre absorbujú slnečné žiarenie na svojom snímači, premieňajú ho na teplo a merajú výsledné množstvo tepla, aby zistili hodnotu intenzity slnečného žiarenia.

Metódy merania tepla zahŕňajú snímanie tepelného toku ako zmeny teploty (pomocou pyrhelimetra na meranie prietoku vody, pyrhelimetra so strieborným diskom alebo bimetalového pyranografu) alebo ako termoelektromotorickej sily (pomocou termoelektrického pyrhelimetra alebo termoelektrického pyranometra). V súčasnej prevádzke sa zvyčajne používajú typy využívajúce termočlánok.

Pre naše účely sme využili dva rádiometre: CMP6 Pyranometer a CHP1 Pyrhelimeter, obidva vyrobené spoločnosťou Kipp & Zonen.

#### 2.1.2.A. CMP6 Pyranometer

Pyranometer CMP6 [1] je určený na rutinný výskum globálneho merania slnečného žiarenia na rovine/rovnom povrchu. CMP6 je plne v súlade so špecifikáciami ISO 9060:2018 pre spektrálne plochú triedu B a je vybavený snímacím prvkom so šesťdesiatimi štyrmi termočlánkovými spojmi (sériovo zapojenými). Snímací prvok je potiahnutý vysoko stabilným neorganickým povlakom na báze uhlíka, ktorý poskytuje vynikajúce spektrálne absorpčné vlastnosti a dlhodobú stabilitu (obr. 2.2).



**Obr. 2.2:** Konštrukcia CMP6 Pyranometra.

Technické špecifikácie pyranometra CMP6 sú uvedené v tab. 2.1.

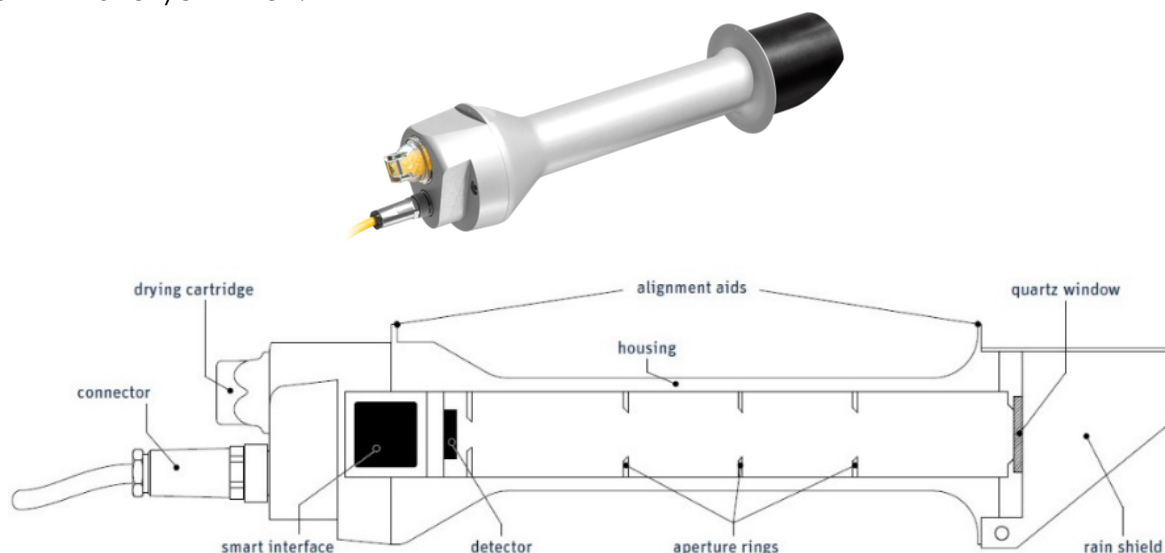
Tab 2.1: Špecifikácie CMP6 Pyranometra.

Spektrálny rozsah (50 % bodov)	285 až 2800 nm
Citlivosť	5 až 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Čas odozvy	12 s
Nulový offset A	$< \pm 8 \text{ W}/\text{m}^2$
Nulový offset B	$< \pm 2 \text{ W}/\text{m}^2$
Smerová odozva (do 80° s lúčom 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ )	$< \pm 20 \text{ W}/\text{m}^2$
Teplotná odozva (-10 to +40°C)	$< \pm 2 \%$
Prevádzkový a skladovací teplotný rozsah	-40 °C to +80 °C
Maximálna intenzita slnečného žiarenia	2000 $\text{W}/\text{m}^2$
Zorné pole	180 °

### 2.1.2.B. CHP 1 Pyrheliometer

Pyrheliometer je určený na meranie priameho slnečného žiarenia so zorným poľom obmedzeným na 5°, známeho aj ako priame normálové žiarenie (DNI = Direct Normal Irradiance). To sa dosahuje tvarom kolimačnej trubice, presnými clonami a konštrukciou detektora. Predná clona má kremenné okienko, ktoré chráni prístroj a slúži ako filter prepúšťajúci slnečné žiarenie s vlnovou dĺžkou od 200 nm do 4 000 nm.

Pyrheliometer CHP 1 [2] (obr. 2.3) je pyrheliometer do každého počasia, ktorý je k dispozícii na nepretržité merania priameho slnečného žiarenia. Konštrukcia pyrheliometra CHP 1 je znázornená na obr. 2.4. Pyrheliometer CHP 1 prevyšuje špecifikácie špičkových sietí slnečného žiarenia, ako je napríklad základná sieť povrchového žiarenia (BSRN) Svetového programu výskumu klímy (WCRP). Tieto siete si vyžadujú presné a spoľahlivé dlhodobé merania na výskum klimatických zmien.



Obr. 2.3: Konštrukcia pyrheliometra CHP1.

Technické špecifikácie pyrheliometra CHP 1 sú uvedené v tabuľke 2.2.

Tab. 2.2: Špecifikácia pyrhelimetra CHP 1.

<b>Spektrálny rozsah</b>	200 až 4000 nm
<b>Citlivosť</b>	7 to 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
<b>Čas odozvy</b>	< 5 s
<b>Nulový offset B</b>	< 1 $\text{W}/\text{m}^2$
<b>Závislosť citlivosti od teploty</b>	< 0.5% (-20° to +50°C)
<b>Zorné pole (FOV)</b>	5° $\pm$ 0.2°
<b>Rozsah prevádzkových teplôt</b>	-40° až +80°C
<b>Nelinearita</b>	< 0.2%
<b>Maximálna intenzita žiarenia</b>	4000 $\text{W}/\text{m}^2$
<b>Medzinárodné štandardy</b>	First Class ISO
<b>Priemer puzdra</b>	3.8 cm (1.5 in.)

### 2.1.3. Meranie priameho, globálneho a rozptýleného slnečného žiarenia

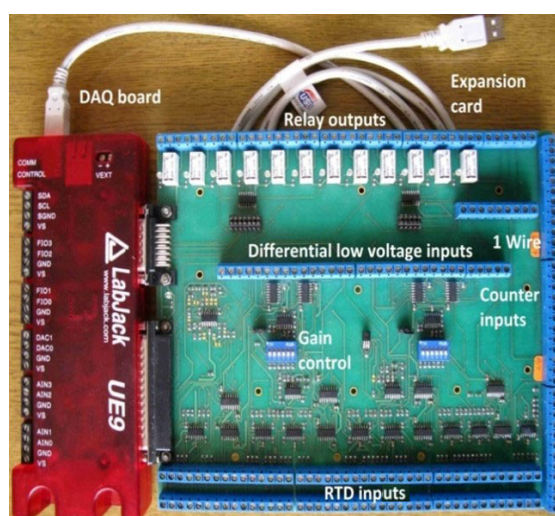
#### 2.1.3.A. DAQ modul

Veľký počet meracích bodov si vyžaduje použitie viackanálového prístroja. Na tento účel bola vyvinutá „Rozširujúca karta“. Umožnila (obr. 2.4) rozšíriť počet analógových kanálov, ktoré poskytuje naša DAQ modul LabJack UE9 [3], ako je uvedené ďalej:

- 32 teplotných kanálov Pt100 3-vodičových odporových senzorov,
- 16 diferenciálnych nízkonapäťových vstupných kanálov (pre jednosmerné prúdy, prístroje na meranie slnečného žiarenia, termočlánky atď.),
- až 128 snímačov teploty DS1820 alebo snímačov vlhkosti (1-vodičové rozhranie),
- 10 vstupných kanálov jednosmerného napätia (pre výstupy meračov ACV, ACA),
- 8 vstupov čítačov (pre prietokomery a merače energie).

Okrem toho je k dispozícii 12 reléových výstupov a 8 výstupov na úrovni TTL na ovládanie záťaží.

Trojvodičový RTD front-end bol pripojený k štyrom existujúcim analógovým napäťovým kanálom DAQ 8-násobným multiplexovaním, aby sa získalo 32 RTD kanálov.

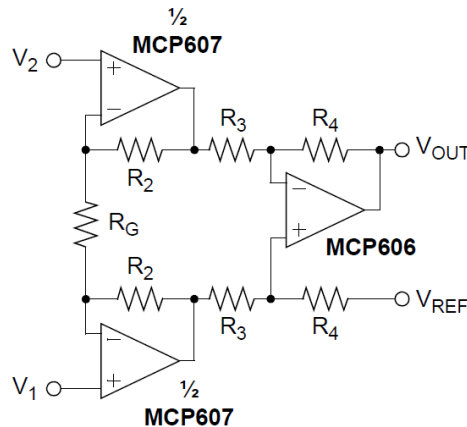


Obr. 2.4: Rozširujúca karta a DAQ modul.

(DAQ board = DAQ modul, Relay outputs = reléové výstupy, Expansion card = rozširujúca karta, Differential low voltage inputs = diferenciálne nízkonapäťové vstupy, RTD inputs = vstupy teplotného odporového senzora, Gain control = ovládanie zosilnenia, Counter inputs = vstupy počítadla)

Na obr. 2.4 je znázornená schéma vstupného pripojenia z rádiometrov k analógovému vstupnému kanálu AIN10 DAQ modulu LabJack UE9.

Na získanie nízkoúrovňového signálu z termopilového snímača (využívajúceho termoelektrický jav), sa používa klasický obvod prístrojového zosilňovača s tromi operačnými zosilňovačmi (obr. 2.5). Dva vstupné operačné zosilňovače [4] majú faktor zosilnenia pre diferenciálne signály a signály so spoločným režimom +1. Výstupný operačný zosilňovač je diferenciálny zosilňovač, ktorý prevádza vstupný signál z diferenciálneho na jednosmerný. Na svojom vstupe potláča signály spoločného módu. Rezistorom ( $R_G$ ) možno jednoducho nastaviť zosilnenie obvodu. Referenčné napätie  $V_{REF}$  v unipolárnych napájacích obvodoch je zvyčajne polovica napájacieho napätia ( $V_{DD}/2$ ).



**Obr. 2.5:** Prístrojový zosilňovač s tromi operačnými zosilňovačmi.

### 2.1.3.B. Meranie priameho slnečného žiarenia

Predpokladajme, že výstupný signál pyrhelimetra CHP 1 je pripojený k AIN10 LabJack UE9 prostredníctvom prístrojového zosilňovača uvedeného na obr. 2.5. V takom prípade je potrebné vykonať niekoľko krokov na výpočet hodnoty prichádzajúceho priameho slnečného žiarenia:

- Výpočet maximálneho napätia na výstupe pyrhelimetra UPIRH\_MAX sa vykoná podľa vzorca (2):

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

kde  $S$  je citlivosť CHP 1 zariadenia ( $10 \mu V m^2/W$ ),  $I_{D\_MAX}$  je maximálne namerané priame slnečné žiarenie ( $1000 W/m^2$ ).

Potom, vypočítaná hodnota je:

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

- Maximálne zosilnenie  $k_{max}$  sa zistí vydelením maximálnej hodnoty vstupného rozsahu UE9  $U_{UE9\_MAX}$ , ktorá sa zvolí nastavením 625 mV na maximálne napätie na výstupe pyrhelimetra UPIRH\_MAX.

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

$k_{max} = 630 \cdot 10^{-3} / 10 \cdot 10^{-3} = 63 \text{ V/V}$ . Zvolíme si zosilnenie  $k = 50$ . Maximálny rozsah merania zo zariadenia (500 mV) sa tak bude pohybovať v medziach maxima pre vstup UE9 (625 mV).

- Výpočet intenzity priameho žiarenia  $I_D$  z napätia na vstupe UE9  $U_{IN\_UE9}$  sa vykonáva podľa rovnice (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. Meranie globálneho snečného žiarenia

Predpokladajme, že výstupný signál pyranometra CMP6 je pripojený k AIN11 žľabového prístrojového zosilňovača LabJack UE9 uvedeného na obr. 2.5. V takom prípade by sa mali vykonať rovnaké kroky, ako sú opísané vyššie, aby sa vypočítala hodnota prichádzajúceho globálneho snečného žiarenia. Výsledná rovnica v tomto prípade vyzerá takto:

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

kde  $S$  (pre pyranometer CMP6) je známe  $12,5 \mu\text{V}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ ;  $k$  je rovnaké ako vo vyššie uvedenom prípade ( $k = 50$ ).

### 2.1.3.D. Výpočet rozptýleného snečného žiarenia

Hodnota rozptýleného snečného žiarenia  $I_{DIF}$  sa získava pomocou rovnice (1) a výsledkov posledných dvoch meraní:  $I_D$  a  $I_G$ . Hodnotu zenitového uhla  $Z$  je pomerne ťažké vypočítať ručne, preto je potrebné použiť internetový nástroj *SunPosition* [5]. Ako vstupné údaje sú potrebné aktuálny čas hodín, časové pásmo a poloha bodu merania. Ako výstup sa získa výškový uhol. Potom by sa mal zenitový uhol vypočítať ako:

$$Z = 90^\circ - \text{hodnota uhla nadmorskej výšky}. \quad (7)$$

## 2.2. Opis experimentálneho vybavenia

### 2.2.1. Hardvérové komponenty

Laboratórne zariadenie je znázornené na obr. 2.6 a pozostáva z týchto komponentov:

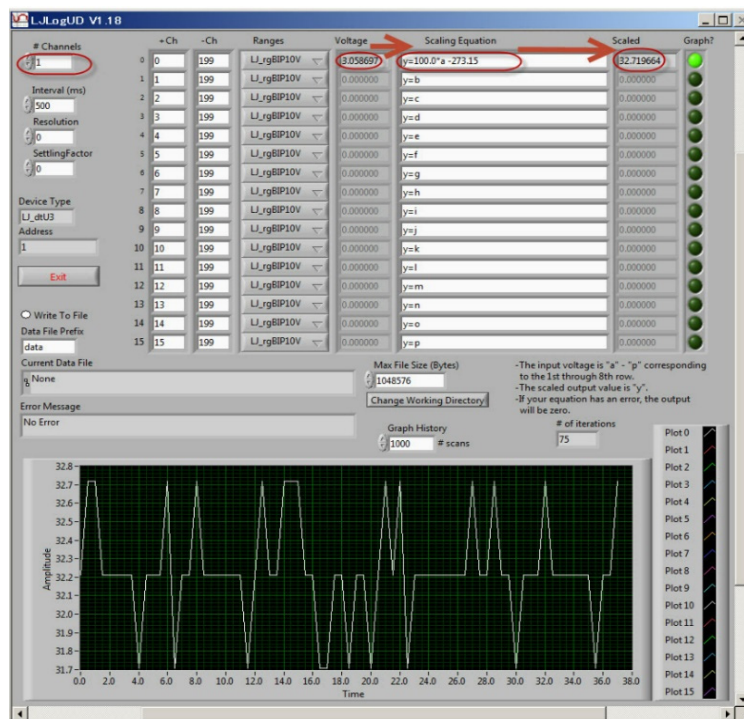
- DAQ modul LabJack UE9,
- rozširujúca karta,
- pyranometer CMP6, pripojený k diferenčnému nízkonapäťovému kanálu 10 rozširujúcej karty,
- pyrliometer CHP1, pripojený k diferenčnému nízkonapäťovému kanálu 11 rozširujúcej karty,
- PC,
- USB kábel.



Obr. 2.6: Nastavenie laboratórných testov.

## 2.2.2. Softvérové vybavenie

Program na zaznamenávanie údajov *LJLogUD* (obr. 2.7) zhromažďuje údaje z meraní a ukladá výsledky. Umožňuje tiež predbežné spracovanie nameraných údajov pomocou jednoduchých vstavaných rovníc.



Obr. 2.7: Program *LJLogUD*.

## 2.3. Úlohy

1. Pripojte všetky komponenty laboratórnej skúšobnej zostavy (obr. 2.5).
2. Spustíte program *LJLogUD* a nakonfigurujete parametre merania, nastavíte vlastnú rovnicu pre meranie rozptýleného  $I_D$  a globálneho žiarenia  $I_G$ .
3. Spustíte meranie a uložíte výsledky (približne 20 vzoriek). Počas tohto kroku by mal byť pyrheliometer CHP 1 nasmerovaný presne na Slnko pomocou vhodného stojana.
4. Importujte údaje (\*.csv formát) do pracovného hárku programu Excel a použite rovnicu (1) na výpočet hodnoty difúzneho žiarenia  $I_{DIF}$ .
5. Vytvorte grafy zmien zložiek slnečného žiarenia počas času.
6. Vypracujte správu.

## Literatúra

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> (Accessed on 25 October 2023)
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>

## 3. KAPITOLA. JEDNODUCHÝ ZVUKOMER S ARDUINOM

*Autorom kapitoly je Martin Hruška z UMB Banská Bystrica, Slovensko*

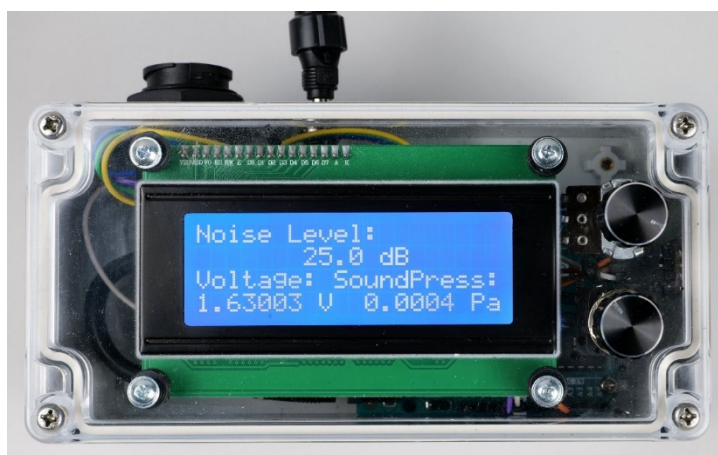
### 3.1. Trochu teórie na úvod

#### 3.1.1. Čo je to hladina akustického tlaku?

Hladina akustického tlaku, často laicky nazývaná aj hlučnosť alebo hluk, patrí medzi základné fyzikálne environmentálne faktory v životnom aj pracovnom prostredí. Jej meranie a hodnotenie je však v skutočnosti veľmi náročné, preto sa mu venujú špecializované firmy a osoby, ktoré majú akreditáciu na vykonávanie takejto činnosti. Metodiku merania hluku a prípustné hodnoty hodnotiacich veličín (tzv. deskriptorov) stanovujú príslušné predpisy a normy daného štátu. Dnes je už k dispozícii na trhu dostatočné množstvo viac či menej kvalitných zvukomerov, s ktorými môžeme uskutočniť vlastné merania.

V nasledujúcom texte si ukážeme, ako si sami môžeme skonštruovať pomerne jednoduchý zvukomer s využitím mikrokontroléra Arduino Uno (obr. 3.1).

Priblížime naše skúsenosti s jeho vývojom a úskaliami, s ktorými sa pri konštrukcii a treba popasovať. Takéto zariadenie z dôvodov, ktoré si vysvetlíme nižšie, nedosahuje kvalitu profesionálnych prístrojov, ale napriek tomu môže slúžiť na orientačné meranie, ktoré nám umožňuje overiť si, resp. potvrdiť niektoré zákonitosti týkajúce sa hluku a jeho šírenia sa v prostredí.



**Obr. 3.1:** Zvukomer s mikrokontrolérom Arduino Uno.

#### 3.1.2. Ako vypočítať hladinu akustického tlaku?

V nasledujúcom texte uvedieme vybrané faktory, týkajúce sa osobitostí merania hlučnosti, ktoré musíme mať na zreteli pri konštrukcii a, ako aj pri návrhu vlastného programu.

Text si v žiadnom prípade nekladie za cieľ opísať všetky aspekty a fyzikálne zákonitosti týkajúce sa šírenia sa hluku v prostredí. Pokiaľ má čitateľ potrebu dozvedieť sa o meraní hluku viac, je potrebné si naštudovať príslušné normy a metodiky, ktoré sú v danej krajine v súčasnosti v platnosti.

Hlučnosť alebo hladinu akustického tlaku  $L$  (dB) môžeme vypočítať pomocou vzťahu:

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

kde  $I$  je intenzita zvuku [ $\text{Wm}^{-2}$ ],  $I_0$  je absolútna hodnota intenzity prahového vnímania tónu s frekvenciou 1 kHz ( $I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$ ),  $p_{\text{ref}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$  je referenčná hodnota akustického tlaku (najnižšia hodnota akustického tlaku, ktoré dokážeme zachytiť sluchom – prah počutelnosti) a  $p$  je okamžitá hodnota akustického tlaku. Intenzita zvuku je priamoúmerná druhej mocnine akustického tlaku. Okamžitú hodnotu akustického tlaku  $p$  je pri meraniach potrebné nahradiť efektívnou hodnotou akustického tlaku ( $p_{\text{rms}}$ ) za nejaký čas, keďže akustický tlak sa v čase veľmi rýchlo mení.

Preto majú zvukomery často viacero režimov merania. Napr. zvukomer RFT 00024 meria v režimoch S (Slow), kedy vypočíta úroveň intenzity zvuku za čas 1 s, režim F (Fast) za čas 125 ms a režim I (Impulse) za čas 35 ms.

Fyzikálne a matematické dôvody, prečo vzťah (1) obsahuje logaritmickú závislosť podielu akustických tlakov vynásobenú faktorom 20, ako aj dôvody, ktoré vedú k potrebe pracovať s efektívnou hodnotou funkcie akustického tlaku, sú dostatočne známe, avšak presahujú náročnosť tohto textu, preto ich na tomto mieste nebudeme rozoberať. Snáď len uvedme, že efektívna hodnota akustického tlaku je priamo úmerná energii skúmaného akustického signálu.

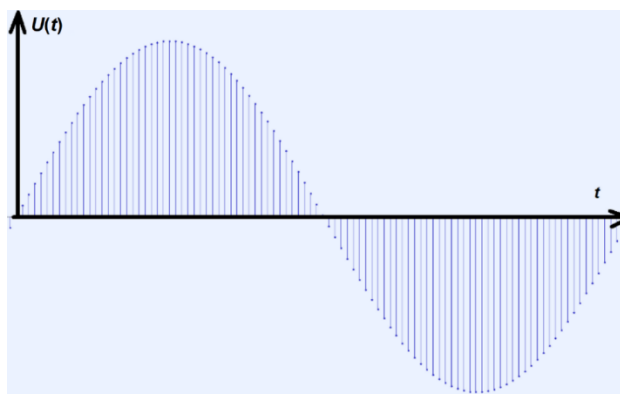
Pripomeňme, že pre efektívnu hodnotu funkcie  $y_{\text{ef}}$ , resp.  $y_{\text{rms}}$ , ktorej okamžitá hodnota  $y(t)$  sa mení v čase  $t$ , pre (vhodne) časový interval  $\Delta t = t_2 - t_1$  platí:

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

Mikrokontrolér meria spojitú funkciu (zvyčajne napätie  $U$ ) tak, že zaznamenáva jej okamžité hodnoty v určitých časových intervaloch so zvolenou vzorkovacou frekvenciou (obr. 3.2), čomu hovoríme kvantovanie signálu (Gray & Neuhoff, 1998). Preto integrál môžeme nahradiť sumou:

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

kde  $n$  je počet okamžitých hodnôt napätia z mikrofónneho senzora, ktoré Arduino Uno zaznamená vo zvolenom časovom intervale.



**Obr. 3.2:** Priebeh harmonického signálu vygenerovaného v programe Audacity.

Výsledný subjektívny vnem zvuku, ktorý zodpovedá hladine akustického tlaku, závisí od mnohých ďalších faktorov, pričom výskum v tejto oblasti stále prináša nové poznatky.

My si spomenieme aspoň závislosť hladiny akustického tlaku zvuku od jeho frekvencie.

Počuteľnosť ľudského sluchu sa nachádza v rozmedzí 20 Hz až 20 kHz. Citlivosť na zvukové vnemy však závisí od frekvencie zvuku, pričom najcitlivejšie počujeme zvuky s frekvenciami od 1 kHz do 5 kHz. Zároveň je frekvenčná závislosť sluchu výraznejšia pri nízkych hladinách



akustického tlaku a menej výrazná v oblasti vysokých hladín akustického tlaku. Preto sa v súčasnosti používajú váhové filtre A, B, C, D, E, Lin a Z, ktoré zohľadňujú citlivosť ľudského sluchu v závislosti od veľkosti hladiny akustického tlaku (Degro, 2009), (Frequency-Weightings for Sound Level Measurements, 2023), (Sound Level Frequency Weightings – A, B, C, D, Lin, Z, 2023).

Pre výpočty sa často rozdeľuje oblasť zvukových frekvencií do oktávových pásiem s intervalmi stredných frekvencií 1 : 2, pričom napr. filter A priradzuje jednotlivým pásmam nasledujúce korekcie (tab. 3.1).

Dnes sú k dispozícii aj také internetové stránky, ktorý vypočítajú vplyv frekvenčných filtrov na jednotlivé frekvencie, napr. (Calculation of Frequency Weightings, 1996).

Tab. 3.1: Korekcie frekvenčného váhového filtra A.

Stredná frekvencia pásma $f_m$ [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Korekcia $K_{Ai}$ [dB]	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1,0	-1,1

Výslednú hladinu akustického tlaku  $L_A$  je potom potrebné vypočítať podľa vzťahu (4):

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

Z uvedených dôvodov musí profesionálny zvukomer obsahovať aj tzv. váhový filter, resp. viacero druhov váhových filtrov, ktoré prispôbujú jeho citlivosť v závislosti od veľkosti hladiny akustického tlaku. Pri praktických meraniach sa najčastejšie používa váhový filter A, ktorý najlepšie zodpovedá vnímaniu zvuku ľudským uchom a váhový filter C pri veľmi hlučných udalostiach. Rozklad signálu na jednotlivé frekvenčné zložky, resp. jeho rozdelenie na intervaly, je súčasťou frekvenčnej analýzy. Z hľadiska tvorby programu pre jednoduchý Arduino zvukomer ide však o náročnejšiu záležitosť, preto sa ňou ďalej nebudeme zaoberať.

V tab. 3.2 sú uvedené orientačné hodnoty hladiny akustického tlaku v závislosti od zdroja spotrebiča v interiéri ako aj od iného, ekvivalentného zdroja zvuku (Výber spotrebiča podľa hladiny hluku, 2019).

Tab. 3.2: Vybrané zdroje zvuku a ich typické hodnoty hladiny akustického tlaku.

L [dB]	Spotrebič	Ekvivalentná činnosť
39 – 50	chladnička, umývačka riadu	tichá ulica, bežné zvukové pozadie
51	práčka počas prania	tichý rozhovor, slabý dážď
55	televízor, tyčový mixér	hlasný rozhovor
60	digestor	
60 – 80	vysávač	spoločenská udalosť, potlesk v sále,
70 – 75	práčka pri odstred'ovaní, rýchlovarná kanvica	silná reprodukováaná hudba
90	–	vlak prechádzajúci okolo
110	–	diskotéka
120 – 130	–	prah bolesti

### 3.1.3. Šírenie zvuku v prostredí

Najjednoduchším príkladom zdroja zvuku je bodový zdroj vo voľnom priestore. Takýmto zdrojom zvuku môže byť napríklad lietadlo letiace vysoko nad zemou

V tomto prípade sa akustický výkon  $P$  zdroja rovnomerne rozkladá po povrchu myslenej gule s príslušným polomerom  $R$ , preto pre intenzitu môžeme písať (5):

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

Zo vzťahu (5) vyplýva, že zdvojnásobenie vzdialenosti od zdroja na  $2R$  spôsobí pokles intenzity na štvrtinu pôvodnej hodnoty:

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

Ak chceme vypočítať, ako sa zmení hladina akustického tlaku, musíme postupovať s využitím vzťahu (1) nasledovne:

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

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

To znamená, že zdvojnásobenie vzdialenosti od bodového zdroja spôsobí pokles hladiny akustického tlaku približne o 6 dB.

## 3.2. Opis experimentálneho vybavenia

### 3.2.1. Stručný opis jednotlivých komponentov zostrojeného Arduino zvukomera

- **Arduino Uno, LCD displej 20 x 4 s modrým podsvietením**

Pre konštrukciu jednoduchého zvukomera budeme potrebovať mikrokontrolér Arduino UNO a LCD displej (obr. 3.3a, b).

Tieto komponenty sú podrobnejšie opísané v texte, ktorý opisuje konštrukciu meteorologickej stanice v kapitole 5, preto sa im nebudeme hlbšie venovať.



a)



b)

**Obr. 3.3:** Mikrokontrolér Arduino Uno (a) spolu s LCD displejom (b).

- **Mikrofónny modul so zosilňovačom MAX4466**

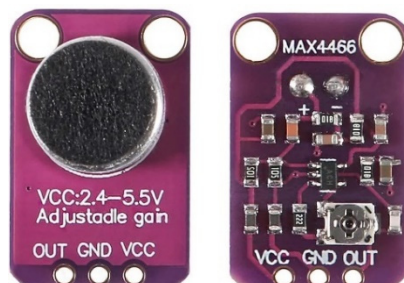
Elektretový mikrofón s nízkošumovým operačným zosilňovačom Maxim MAX4466 vyrába firma Adafruit. Podľa stránok výrobcu (Adafruit, 2023) senzor poskytuje kvalitný zvuk s malým množstvom nežiadúcich ruchov.

Na tej istej stránke nájdeme aj CAD súbory zo zapojením a s plošným spojom senzora, základné katalógové údaje o použítom elektretovom mikrofóne, ako aj o zosilňovači MAX4466. Operačná frekvencia mikrofónu je 20 Hz až 20 kHz, zvuková charakteristika mikrofónu je všesmerová, čiže zvuky zachytáva zo všetkých smerov.

Zosilnenie senzora môžeme nastaviť potenciometrom na zadnej strane v intervale od 25x až do 125x.

Pre potreby projektu odporúčame nastaviť zosilnenie senzora hneď na začiatku a už ho viac nemeniť, nastavenému zosilneniu bude totiž potrebné prispôbiť finálnu kalibráciu vy počítanej intenzity zvuku!

Senzor na svoje fungovanie nevyžaduje inštalovať žiadnu knižnicu. Jeho rozmery sú približne 14 mm x 22 mm a disponuje aj dvoma montážnymi otvormi na uchytenie skrutkami.



**Obr. 3.4:** Elektretový mikrofón s operačným zosilňovačom MAX4466.

- **Stabilizátor napätia AMS1117 (3,3 V) a napájanie mikrofónneho modulu**

Počas konštrukcie Arduino zvukomera sa ukázalo, že je potrebné na stabilizáciu napájacieho napätia mikrofónneho modulu použiť dostatočne kvalitný stabilizátor. Pokiaľ sme mikrofónny modul napájali priamo z 3,3 V DC výstupu Arduino, merania boli veľmi nepresné.

V druhom kroku sme využili 3,3 V stabilizátor AMS1117 (obr. 3.5), ktorý aj napriek tomu, že bol určený priamo pre moduly citlivé na napájanie k Arduino, neposkytoval dostatočne vyhladené napätie.



**Obr. 3.5:** Stabilizátor napätia AMS1117 3,3 V, napájaný 5 V DC výstupom Arduino.

Nakoniec sme ako stabilizátor, resp. referenčný zdroj napätia, použili obvod LP2950ACZ-3.3/NOPB, ktorého presnosť výstupného napätia dosahuje hodnotu 0,5 % (čo predstavuje odchýlku od referenčného napätia  $\pm 16,5$  mV).

Na obr. 3.6 je znázornené jeho zapojenie vo zvukomeri spolu s kondenzátormi na vstupe a výstupe.



**Obr. 3.6:** Stabilizátor napätia LP2950ACZ-3.3/NOPB s 1  $\mu$ F a s 2,2  $\mu$ F kondenzátormi, umiestnený na plošnom spoji a napájaný 5 V DC výstupom Arduino.

Nedostatočná stabilizácia napätia mikrofónneho modulu sa prejavovala viacerými spôsobmi:

- Šum v napájaní mikrofónneho modulu.

Rôzne moduly bývajú štandardne v Arduino aplikáciách napájané samotným Arduino napätím 3,3 V DC alebo 5 V DC. V prípade zvukomera toto napájanie nie je dostatočne stabilné, keďže obsahuje rôzne nízko- aj vysokofrekvenčné rušenia, ktorých zdrojom je predovšetkým samotné Arduino (väčšinou ide o rôzne komunikačné signály). Tento problém sa následne prejaví nemožnosťou merať nízke a stredné hodnoty intenzity zvuku, pretože samotné napájanie je zdrojom tak veľkého rušenia v zosilňovačoch, že hodnoty intenzity zvuku aj v úplnom tichu neklesajú pod 60 dB. Kapsula elektretového mikrofónu zo svojej podstaty obsahuje operačný zosilňovač, ktorý zosilňuje signál z mikrofónu, a ten je napájaný priamo cez plošný spoj mikrofónneho modulu tzv. fantómovým napájaním. O ďalšie zosilnenie sa stará operačný zosilňovač MAX4466, ktorý sa nachádza na plošnom spoji mikrofónneho senzora. Pokiaľ takúto sústavu zosilňovačov napájame zo zdroja napätia s veľkým rušením, dochádza (aj napriek použitiu rôznych druhov filtrov na vyhladenie napájania) k zosilneniu aj tohto elektronického rušenia. Na výstupe zvukového modulu budeme počuť veľký šum, ktorý samozrejme nepriaznivo ovplyvní výpočet hodnoty akustického tlaku a následne aj intenzity zvuku. Nie je preto náhoda, že mnohé zvukomery sú napájané prostredníctvom interných akumulátorov alebo batérií, pri ktorých tento typ rušenia úplne odpadá.

- Nestabilita pracovného bodu mikrofónneho modulu v závislosti od napájania Arduino zvukomera, od teploty a pod.

Mikrofónny modul na svojom výstupe poskytuje pre Arduino napäťový signál, pričom jeho hodnoty môžu kolísať od 0 V do 3,20 V (v závislosti od nastavenia zosilnenia mikrofónneho senzora na začiatku). To znamená, že pri veľmi nízkych hladinách akustického tlaku, kedy už mikrofón nedokáže zachytiť žiadne vzruchy v závislosti od svojej citlivosti, hodnota na výstupe dosahuje 1,60 V presne a prakticky sa v čase nemení. Nižšie hodnoty napätia reprezentujú záporné hodnoty akustického tlaku, vyššie hodnoty ako 1,60 V zodpovedajú kladným hodnotám akustického tlaku. Keďže v prípade elektretového mikrofónu platí, že napätie na výstupe je priamoúmerné akustickému tlaku, hodnoty napätia môžeme veľmi jednoducho prepočítať na akustický tlak. Aby zvukomer meral správne, stredná hodnota napätia 1,60 V musí zostať konštantná, keďže vstupuje do výpočtu intenzity zvuku. Ak sa tento bod počas merania posúva, zvukomer bude ukazovať nesprávne a hlavne vyššie hodnoty intenzity zvuku, pričom je vďaka logaritmu veľmi citlivý – už pri malom odklone od strednej hodnoty napätia rádovo o 0,1 mV sa hodnoty akustického tlaku posúvajú o jednotky až desiatky dB. Toto je jeden z dôvodov, prečo aj niektoré komerčne dostupné zvukomery dokážu merať až od 30 dB – 50 dB nahor, nižšie hodnoty je možné zmerať iba pri veľmi presných meraniach v bezodrazovej komore.

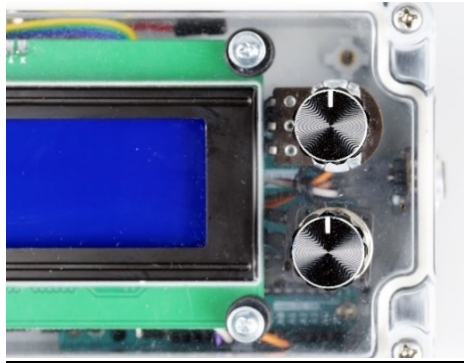
- Tepelná stabilita napájania a zdroj napájania Arduino.

Naše skúsenosti ukázali, že stredná hodnota napätia 1,60 V sa mierne posúva v závislosti od teploty zariadenia. Veľmi pravdepodobne ide najmä o teplotnú nestabilitu mikrofónneho senzora so zosilňovačom MAX4466, ktorého pracovný bod sa s teplotou nepatrne mení.

- Stabilita pracovného bodu v závislosti od druhu napájania.

Ďalší, ešte výraznejší vplyv na posun pracovného bodu má zdroj napájania – rôzne DC adaptéry, ako aj USB porty počítačov alebo USB adaptéry poskytujú mierne iné hodnoty napätia, čo sa prejavuje aj v posune strednej hodnoty napätia mikrofónneho modulu. Tento vplyv sme sa pokúsili eliminovať tak, že sme za napäťový stabilizátor zapojili dva potencioetre – pre hrubšie a jemnejšie naladenie strednej hodnoty napätia po pripojení napájania

(obr. 3.7). Zároveň je možné nimi korigovať aj kolísanie hodnoty pracovného bodu počas merania. Finálna schéma zapojenia Arduino zvukomera, ako aj jeho bloková schéma, sú uvedené v nasledujúcej podkapitole.



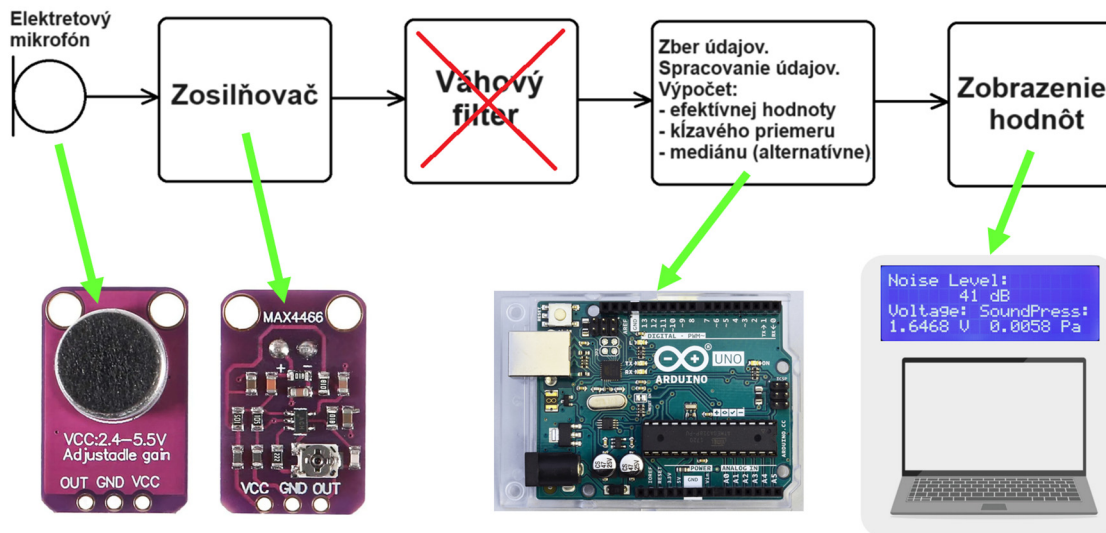
**Obr. 3.7:** Pohľad na dva otočné ovládače potenciometrov – horný potenciometer slúži na hrubšiu kalibráciu pracovného bodu Arduino zvukomera, spodný na jeho jemné doladenie.

**Pozor – je potrebné použiť potenciometre lineárne (označenie LIN, resp. B).**

Logaritmické potenciometre (LOG, resp. A) sa používajú na reguláciu hlasitosti.

### 3.2.2. Opis zapojenia a konštrukcie Arduino zvukomera

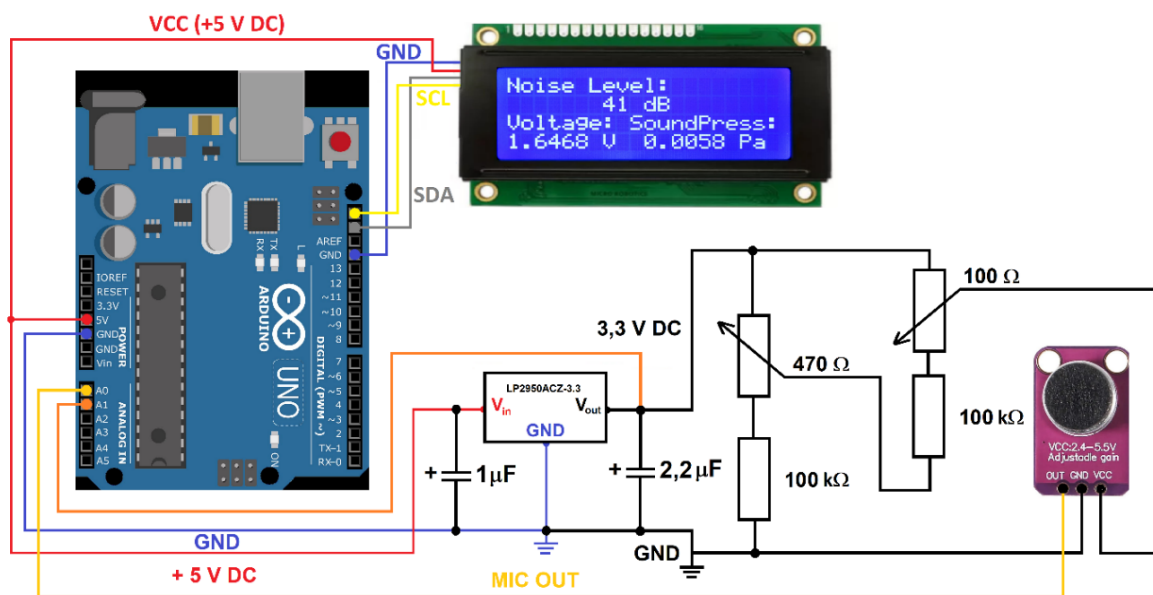
Skôr ako si opíšeme elektrotechnické zapojenie zvukomera, zameriame sa najprv na jeho blokovú, resp. funkčnú schému (obr. 3.8). Zjednodušené zapojenie vychádza z blokovej schémy štandardného, komerčne dostupného zvukomera.



**Obr. 3.8:** Bloková schéma zapojenia Arduino zvukomera.

Zachytenie zvukového vzruchu, jeho prevod na elektrický signál a zosilnenie má na starosti mikrofónny modul spolu s operačným zosilňovačom. Elektrický signál následne vstupuje do mikrokontroléra Arduino Uno, kde je vynechaná spektrálna analýza signálu a jeho úprava pomocou váhového filtra. Zo série napäťových hodnôt je vypočítaná efektívna hodnota napätia, prevedená na akustický tlak a následne vstupuje do výpočtu hodnoty hladiny akustického tlaku. Kvôli zníženiu náhodného šumu sa z nameraných hodnôt hladiny akustického tlaku počíta buď plávajúci priemer alebo sa určuje medián (v závislosti od verzie programu a od našich potrieb). Výsledky sú buď zobrazené na displeji, alebo sa zaznamenajú do počítača. Na displeji sa zobrazuje aj efektívna hodnota nameraného napätia a efektívna hodnota hladiny akustického tlaku.

Schéma zapojenia zvukomera je zobrazená na obr. 3.9. LCD displej je pripojený k Arduino štyrmi vodičmi. Dva súvisia s I<sup>2</sup>C rozhraním (SCL a SDA), ďalšie dva slúžia na napájanie displeja (GND a 5 V DC). Napätie 5 V je privedené aj do stabilizátora LP2950ACZ-3.3, ktorý je zaradený pred potenciometrami a mikrofónnym modulom. Stabilizátor je kvôli väčšej stabilite a odrušeniu osadený na vstupe a výstupe elektrolytickými kondenzátormi 1  $\mu$ F a 2,2  $\mu$ F podľa katalogového zapojenia (Datasheet LP295x-N Series, 2017). 480  $\Omega$  potenciometer, zapojený do série s rezistorom 100 k $\Omega$ , slúži na hrubú kalibráciu pracovného bodu, 100  $\Omega$  potenciometer v sérii so 100 k $\Omega$  rezistorom umožňuje pracovný bod jemne doladiť.



**Obr. 3.9:** Schéma zapojenia Arduino zvukomera.

Výstup z mikrofónneho senzora je privedený do pinu A0 Arduino. Okrem toho je do pinu A1 privedené aj výstupné napätie zo stabilizátora. Toto napätie bolo potrebné zaznamenávať pre diagnostické účely pri konštrukcii programu, a to najmä z dôvodu kontroly kvality použitého stabilizátora a prepojovací vodič sme zachovali pre každý prípad pripojený aj vo finálnej verzii zapojenia.

Zapojenie zrealizujeme pomocou vodičov, pričom pre pripojenie mikrofónneho senzora k Arduino je najlepšie využiť vodiče s koncovkami DuPont typu M-F (Male-Female), ako vidieť na obr. 3.10. Okrem nich bude ale potrebné niektoré spoje realizovať aj s využitím spájkovania pomocou spájkovačky a cínovej spájky.

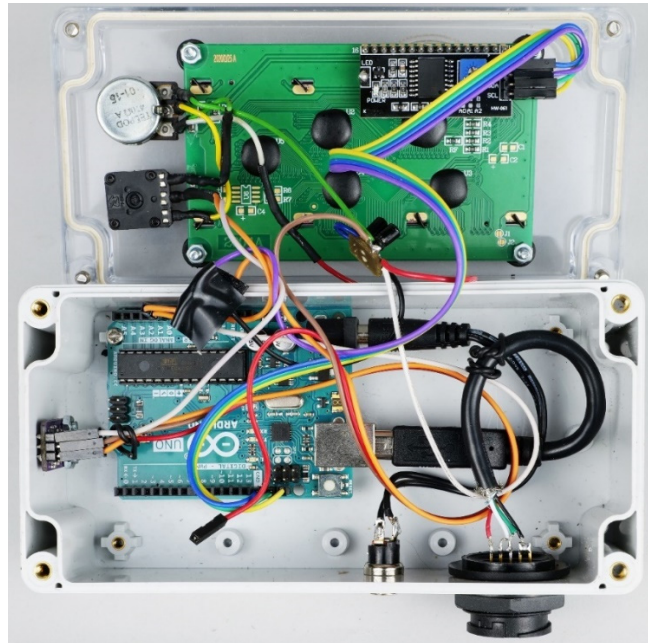


**Obr. 3.10:** Vodiče s koncovkami typu M-F na pripojenie k Arduino.

Pre lepšiu predstavu je reálne zapojenie Arduina, mikrofónneho senzora, potenciometrov a LCD displeja zobrazené na obr. 3.11.

V hornej časti obrázka je vidieť zadnú stranu priehľadného krytu krabičky, v ktorej je uchytený LCD displej a obidva potenciometre. V spodnej časti montážnej krabičky je upevnené Arduino Uno, v ľavej stene (z nášho pohľadu) mikrofónny senzor a v spodnej časti obrázka napájací a USB konektor. 3,3 V DC stabilizátor je spolu s kondenzátormi na malom plošnom spoji prichytený k vodičom, nie priamo ku krabičke.

Uchytenie mikrofónneho senzora do bočnej steny montážnej krabičky, ako aj nalepené protišmykové podložky, je vidieť na obr. 3.12.



**Obr. 3.11:** Pohľad do vnútra Arduino zvukomera.



**Obr. 3.12:** Uchytenie mikrofónneho senzora.

V ďalšom texte opíšeme program zvukomera, ako aj návod na prácu s ním.

### **3.2.3. Naprogramovanie Arduino zvukomera a opis programu**

K Arduino zvukomeru boli vytvorené dva programy, ktoré sa mierne líšia finálnym spracovaním nameranej hladiny akustického tlaku. Prvá verzia programu z piatich nameraných hodnôt hladiny akustického tlaku vypočítava kľzavý priemer. Tento postup sa bežne využíva pri spracovaní dát vtedy, ak sa potrebujeme zbaviť šumu v nameraných hodnotách. Nevýhodou

je, že zvukomer v tom prípade nedokáže reagovať na rýchle zmeny akustického tlaku v prostredí. Pokiaľ potrebujeme zachytiť aj rýchlejšie zmeny, výhodnejšie je použiť druhú verziu programu, ktorá počíta medián.

V ďalšom texte podrobnejšie opíšeme verziu programu s kľzavým priemerom a potom upozorníme na odlišnosti vo verzii s mediánom.

V prvej časti programu (obr. 3.13) je treba načítať potrebné knižnice pre I<sup>2</sup>C komunikáciu a displej, pre istotu aj matematickú knižnicu, keďže budeme potrebovať funkciu dekadický logaritmus. Taktiež je potrebné zadať potrebné konštanty.

*Pozn.: symbol dvojitého lomítka „//“ v programe znamená, že text, ktorý je za ním, bude programom ignorovaný.*

```
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
```

**Obr. 3.13:** Úvodná časť kódu s inicializáciou knižníc a vstupnými konštantami.

V ďalšej časti programu sa zadefinuje index pre počítanie efektívnej hodnoty napätia z mikrofónneho senzora. Program je nastavený tak, že efektívnu hodnotu vypočíta z 3500 hodnôt nameraného napätia (obr. 3.14). Taktiež je v úvodnej časti programu zadefinované pole pre výpočet kľzavého priemeru.

```
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
```

**Obr. 3.14:** Zavedenie indexu a poľa na výpočet efektívnej hodnoty a kľzavého priemeru.

V inicializačnej časti programu `void setup()` inicializujeme sériovú komunikáciu, LCD displej a prikážeme zobrať text, ktorý sa počas chodu programu už nebude meniť (obr. 3.15).



```

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

```

**Obr. 3.15:** Inicializačná časť programu.

V základnom behu programu `void loop()` na obr. 3.16 Arduino najprv prečíta digitálnu hodnotu v 10 bitovom rozlíšení z mikrofónneho senzora. Následne ju prepočíta na napätie, umocní na druhú a pripočíta k ostatným umocneným hodnotám napätia. Tento postup zopakuje asi každých 8  $\mu$ s, až kým nezapočíta 3500 hodnôt napätia. Súčet podelí počtom vzoriek a odmocní podľa vzťahu (3). Nasleduje výpočet akustického tlaku, hodnoty akustického tlaku a kalibrovanej hodnoty akustického tlaku podľa zvukomera UNI-T UT352, ktorá je stručne popísaná nižšie v ďalšej časti.

```

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

```

**Obr. 3.16:** Výpočet hodnoty hladiny akustického tlaku.

V záverečnej časti programu, ktorá je zobrazená na obr. 3.17, sa spočíta z piatich takto nameraných hodnôt hladiny akustického tlaku kľavý priemer. Pritom je potrebné zabezpečiť, aby sa po jeho výpočte vždy z poľa údajov odstránilo posledné číslo a načítalo nové. Po jeho výpočte už nasleduje iba výpis hodnôt nameranej intenzity zvuku, efektívnej hodnoty napätia a efektívnej hodnoty akustického tlaku na LCD displej. Pomocou sériového pripojenia cez port USB je možné v počítači zaznamenať hodnotu hladiny akustického tlaku v decibeloch. Hodnoty sa vypisujú každú sekundu.

```

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 }

```

**Obr. 3.17:** Výpočet kľzavého priemeru a výpis hodnôt na LCD displej a do počítača.

Ako sme už spomenuli vyššie, pokiaľ potrebujeme zaznamenať rýchlejšie zmeny hladiny akustického tlaku, je vhodnejšie z nameraných hodnôt intenzity spočítať medián.

Rozdiel oproti programu s kľzavým priemerom spočíva v tom, že časti kódu, ktoré definovali úvodné podmienky a premenné pre výpočet kľzavého priemeru, boli nahradené kódom pre medián. Ako vidieť na obr. 3.18, v prípade nepárneho počtu hodnôt sa po zoradení vyberie medián ako prostredná hodnota. Ak je počet hodnôt párný, program vypočíta priemer z dvoch prostredných hodnôt.

```

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 }

```

**Obr. 3.18:** Vstupný kód programu pre výpočet mediánu z piatich hodnôt.

Druhá zmena v kóde sa nachádza vo funkcii `void loop()` hneď po výpočte kalibrovanej hodnoty hladiny akustického tlaku, kde podľa vyššie definovaných podmienok na obr. 3.18 nastáva prečítanie hodnoty hladiny akustického tlaku (`decibelRMSCal`) a vlastný výpočet mediánu z piatich hodnôt (obr. 3.19). Výsledkom je premenná `median`. Ďalší postup výpisu hodnôt je už totožný v oboch programoch.

```

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);

```

**Obr. 3.19:** Výpočet mediánu z piatich hodnôt.

Len pre zaujímavosť uvedme, že pri tvorbe kódu pre Arduino zvukomer sme čiastočne využili aj jazykový model ChatGPT, vyvinutý spoločnosťou OpenAI a založený na architektúre GPT-3.5. Umelá inteligencia sama nedokázala vygenerovať komplexnejší kód, významne nám však pomohla pri tvorbe niektorých jeho (pre nás) náročnejších fragmentov, ako aj pri dodržiavaní syntaxe jazyka Wiring, vytvoreného pre Arduino mikrokontroléry.

### 3.2.4. Kalibrácia Arduino zvukomera

Keďže sme mali k dispozícii zvukomer UNI-T UT352 (obr. 3.20a), rozhodli sme sa s jeho pomocou okalibrovať nami vytvorený zvukomer, aby podľa možností čo najpresnejšie zobrazoval namerané hodnoty hladiny akustického tlaku. Náš zvukomer neobsahuje váhové filtre, preto sme

k meraniu využili tzv. biely šum, ktorý obsahuje celé spektrum zvukových frekvencií. Ešte presnejšiu kalibráciu by sme dosiahli s využitím tzv. ružového šumu, ktorý lepšie korešponduje so sluchom človeka. Tento typ zvuku je výhodné využiť aj na merania v uzavretej miestnosti, lebo eliminujeme problémy so vznikom stojatého vlnenia. Zvuk v miestnosti sa odráža od rôznych povrchov a navzájom interferuje a pokiaľ vzniknú v priestore uzly a kmitne medzi zdrojom zvuku a zvukomerom, znehodnotia nám meranie hladiny akustického tlaku v okolí jeho zdroja.

Biely šum sme vygenerovali v podobe bezstratového \*.wav súboru vo voľne dostupnom audio programe na spracovanie zvuku Audacity a nahrali sme ho do mini MP3 prehrávača (obr. 3.20b). Mini MP3 prehrávač, resp. mini MP3 reproduktor tvaru kocky s hranou dĺžky približne 3,3 cm, disponuje vlastným zdrojom napájania, USB a aj 3,5 mm stereo jack konektorom.



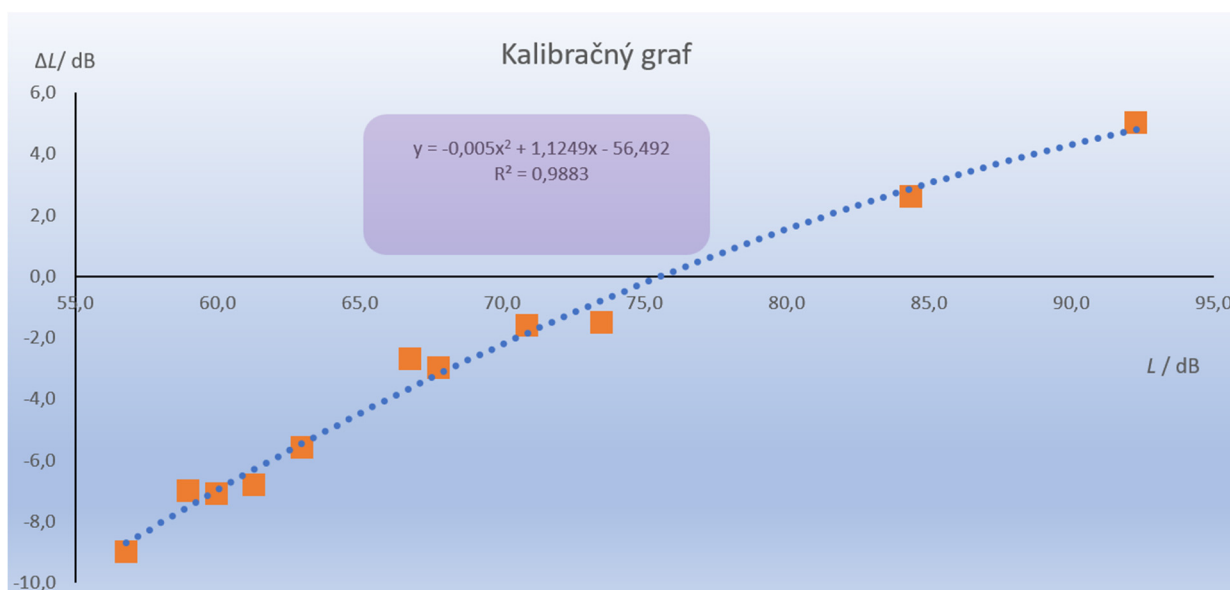
a)



b)

**Obr. 3.20:** Pomôcky využité na kalibráciu– a) zvukomer UNI-T UT352 and b) mini-MP3 prehrávač.

Kalibráciu sme zrealizovali tak, že sme mini MP3 prehrávač s bielym šumom posúvali smerom od zvukomerov od vzdialenosti 5 cm až po 1 m, pričom sme zaznamenávali údaje o intenzite zvuku v decibeloch na obidvoch prístrojoch pre 11 vzdialeností. Pre každú vzdialenosť sme vypočítali rozdiel medzi hodnotami na prístrojoch a tieto rozdiely sme znázornili v grafe. Na x-ovej osi sú údaje z prístroja UNI-T UT352, na y-ovej osi sú uvedené rozdiely medzi naším a komerčným prístrojom. Získanú závislosť sme interpolovali polynomickou závislosťou druhého stupňa, ako je vidieť na obr. 3.21.



**Obr. 3.21:** Graf odchýliek hladiny akustického tlaku od prístroja UNI-T UT352 s interpolovanou kalibračnou závislosťou.

Po opätovnom premeraní bolo potrebné uvedenú trendovú rovnicu ešte upraviť manuálne a až následne bola jej upravená verzia zakomponovaná do oboch verzí programu.

Pri meraní iných zvukových podnetov sa budú výsledky merania viac alebo menej líšiť. Ďalším významným faktorom, ktorý ovplyvňuje presnosť merania, je kvalita mikrofónu a aj použitej elektroniky. Komerčné zvukomery využívajú vysokokvalitné meracie mikrofóny s presne definovanými parametrami a taktiež zložitejšiu a výrazne kvalitnejšiu elektroniku.

### 3.2.5. Zber dát zo zvukomera prostredníctvom počítača

Ako sme už uviedli v texte pri konštrukcii meteorologickej stanice, pre samotný zber dát pomocou počítača môžeme s výhodou využiť niektorý z voľne dostupných programov, ktorý dokáže zaznamenávať dáta posielané sériovým prenosom z Arduina cez USB konektor do textového súboru. Nám sa najlepšie osvedčil program *CoolTerm*, ktorého najnovšia verzia je voľne dostupná na internete (CoolTerm, 2022).

Keďže sme sa problematike zberu dát podrobnejšie venovali pri tvorbe meteorologickej stanice, pričom sme spracovali aj pomerne podrobný manuál, ako dáta zaznamenať a dostať do tabuľkového procesora MS Excel, v ďalšom texte sa mu už venovať nebudeme.

### 3.2.6. Ako pracovať s Arduino zvukomerom

Pri práci so zvukomerom je potrebné postupovať nasledovne:

- Prístroj môžeme napájať adaptérom od 6 V do 15 V DC, alebo cez USB konektor buď pomocou USB adaptéra, alebo pomocou počítača v prípade, ak chceme namerané dáta aj zaznamenať.
- Po zapnutí je potrebné nastaviť pracovný bod. To dosiahneme pomocou dvoch potenciometrov v pravej časti prístroja. Nastavenie by malo prebiehať v tichej miestnosti, aby sme čo najviac eliminovali okolité ruchy. Pomocou hrubšieho a následne jemnejšieho ladenia sa snažíme nastaviť úroveň napätia na displeji na hodnotu  $(1,60000 \pm 0,00005)$  V. Program Arduino zvukomera je nastavený tak, aby pri dosiahnutí pracovného bodu nikdy neukazoval hodnotu nižšiu ako je 25 dB. Keďže pri takto blízkyh hodnotách v okolí pracovného bodu je elektronický šum veľmi výrazný, prístroj by aj tak ukazoval nesprávne hodnoty.
- Zvukomer je najlepšie nechať po zapnutí tepelne vytemperovať, v opačnom prípade sa bude pracovný bod posúvať. Po zapnutí teda môžeme Arduino zvukomer použiť na krátke merania, avšak pokiaľ chceme zaznamenávať hluk konkrétnych zdrojov desiatky minút a viac, je lepšie počkať cca päť minút, kým sa elektronika zohreje na prevádzkovú teplotu.
- Pokiaľ dáta zaznamenávame pomocou počítača, napr. cez program *CoolTerm*, je najlepšie nastaviť pracovný bod zvukomera až po zapnutí sériovej komunikácie, čiže po začatí merania a zaznamenávania hodnôt. V opačnom prípade, ak nastavíme pracovný bod ešte pred spustením sériového prenosu, sa nám po jeho spustení posunie.
- Pri dlhodobjšom meraní je potrebné pracovný bod zvukomera raz za čas priebežne doladiť.

## 3.3. Úlohy

### 3.3.1. Meranie hluku v miestnosti

**Úvod:** Hluk v miestnosti, či už doma alebo na pracovisku, môže pôsobiť unavujúco a stresujúco. Napríklad pri činnosti, pri ktorej dorozumievanie predstavuje dôležitú súčasť vykonávanej práce a pri ktorej sú veľké nároky na presnosť, rýchlosť alebo pozornosť, by hladina akustického tlaku nemala prekračovať hodnotu 50 dB. Aký hluk je u vás v práci alebo doma? Podme si to zmerať.

**Cieľ merania:** Cieľom experimentu je s využitím jednoduchého zvucomera zmerať úroveň hladiny akustického tlaku v pracovnom alebo v domácom prostredí počas niekoľkých desiatok minút a posúdiť hlučnosť v miestnosti.



#### 3.3.1.A. Postup merania

- Experimentálnu zostavu tvorí Arduino zvucomer s počítačom. Do Arduino zvucomera nahráme program s meraním mediánu (je vhodnejší pre rýchle zmeny hluku).
- Zvucomer pripojíme k počítaču v miestnosti, kde chceme zaznamenávať dáta.
- Spustíme program *CoolTerm* a začneme zaznamenávať hodnoty hladiny akustického tlaku do textového súboru.
- Až teraz pristúpime k samotnej kalibrácii – aby sme zvucomer mohli okalibrovať, potrebujeme chvíľu ticha v miestnosti.
- Po kalibrácii si poznačíme začiatok merania, ako aj dáta v textovom súbore, ktoré nebudeme potrebovať a ktoré sme zaznamenali už pred kalibráciou (zvucomer je potrebné okalibrovať až po spustení ukladania dát, inak sa jeho pracovný bod posunie a bude ukazovať nesprávne hodnoty).
- Dáta zaznamenávame napr. polhodinu, pričom priebežne kontrolujeme nastavenie pracovného bodu, keď je v miestnosti ticho. Ak je to potrebné, doladíme ho.
- Po cca 30 minútach, alebo až po hodine, meranie ukončíme (máme zaznamenaných okolo 1800 až 3600 hodnôt hladiny akustického tlaku).

#### 3.3.1.B. Analýza merania

Dáta preneste z textového súboru do Excelu a zostrojte tabuľku a graf – vzorový príklad grafu môžete vidieť na obrázku nižšie.

Ak máte zaznamenaný začiatok merania, na x-ovú os vyneste čas vo formáte hh:mm:ss.

Pozorujte časový priebeh hluku v miestnosti a pokúste sa zodpovedať nasledujúce otázky (či už pomocou grafu, alebo priamo z tabuľky s nameranými hodnotami).



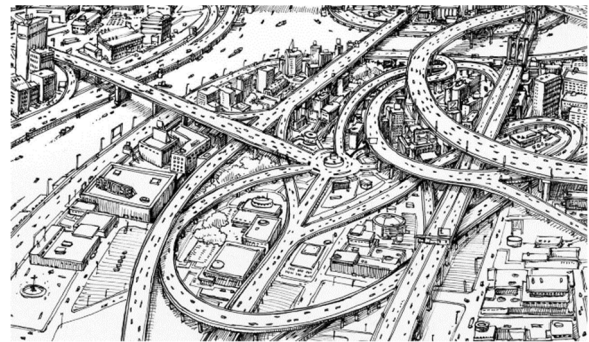
Dátum: \_\_\_\_\_

- Maximálna nameraná hladina akustického tlaku v miestnosti bola \_\_\_dB.
- Nameraná bola v čase od \_\_\_hod\_\_\_min\_\_\_sek až do \_\_\_hod\_\_\_min\_\_\_sek.
- Minimálna nameraná hladina akustického tlaku v miestnosti, ktorú ukázal zvukomer, bola \_\_\_dB.
- Rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hladinou akustického tlaku bol \_\_\_dB.
- Najdlhší časový interval, kedy bolo v miestnosti ticho ( $L \leq 25$  dB) sa vyskytol v čase od \_\_\_hod\_\_\_min\_\_\_sek až do \_\_\_hod\_\_\_min\_\_\_sek.
- Najväčší nárast hladiny akustického tlaku v miestnosti sa vyskytol v čase \_\_\_hod\_\_\_min\_\_\_sek.

### 3.3.2. Meranie hluku v mieste bydliska alebo školy

**Úvod:** Hluk v mestách, na uliciach, spôsobuje najčastejšie doprava. To je aj dôvod, prečo sa hlavné dopravné cesty stavajú ako obchvaty, ktoré majú obchádzať obývané územia. Hlučnosť dopravy závisí hlavne od druhu dopravného prostriedku, ako aj od počtu áut, ktoré sa po ceste pohybujú a takisto aj od ich rýchlosti.

Ako je to s hlučnosťou ulíc, ciest a križovatiek v okolí vášho bydliska alebo školy? Sú miesta, kde je príliš veľa hluku?



**Cieľ merania:** Cieľom experimentu je zistiť, ktoré ulice sú v okolí vášho bydliska alebo školy najhlučnejšie.

#### 3.3.2.A. Postup merania

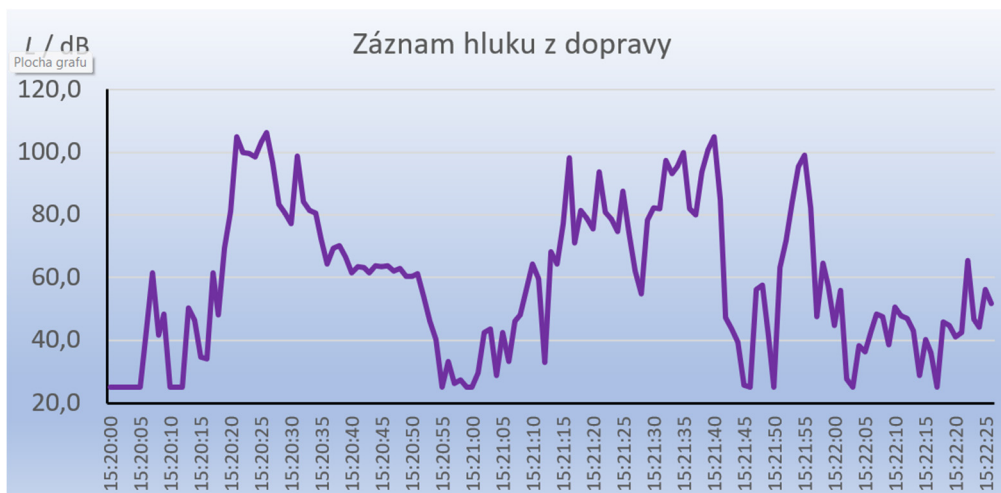
- Experimentálnu zostavu tvorí Arduino zvukomer s notebookom. Do Arduino zvukomera nahráme program s meraním kĺzavého priemeru.
- Zvukomer pripojíme k notebooku v exteriéri, kde chceme zaznamenávať dáta. Ak nemôžeme ísť z rôznych dôvodov (napr. kvôli počasiu) von, využijeme záznam hluku dopravy stiahnutý z internetu, ktorý prehráme pomocou aktívnych reproduktorov. Rôzne záznamy sú dostupné napr. na stránke: <https://www.videvo.net/royalty-free-sound-effects/traffic/>.
- Spustíme program *CoolTerm* a začneme zaznamenávať dáta hladiny akustického tlaku do textového súboru.
- Až teraz pristúpime k samotnej kalibrácii – aby sme zvukomer mohli okalibrovať, potrebujeme chvíľu ticha v miestnosti.
- Po kalibrácii si poznačíme začiatok merania, ako aj dáta v textovom súbore, ktoré nebudeme potrebovať a ktoré sme zaznamenali už pred kalibráciou (zvukomer je potrebné okalibrovať až po spustení ukladania dát, inak sa nám pracovný bod posunie a zvukomer bude ukazovať nesprávne hodnoty).
- Dáta zaznamenávame napr. polhodinu počas prechádzky cez mesto, pričom priebežne kontrolujeme nastavenie pracovného bodu, keď je v okolí ticho. Ak je to potrebné, doladíme ho.
- Po cca 30 minútach, alebo až po hodine, meranie ukončíme (máme zaznamenaných okolo 1800 až 3600 hodnôt hladiny akustického tlaku).

### 3.3.2.B. Analýza merania

Dáta preneste z textového súboru do Excelu a zostrojte tabuľku a graf – vzorový príklad grafu môžete vidieť na obrázku nižšie. Ide o záznam hluku z dopravy v dĺžke cca 2,5 minúty, voľne dostupný na internete.

Ak máte zaznamenaný začiatok merania, na x-ovú os vyneste čas vo formáte hh:mm:ss.

Pozorujte časový priebeh hluku v exteriéri a pokúste sa zodpovedať nasledujúce otázky (či už pomocou grafu, alebo priamo z tabuľky s nameranými hodnotami).



Dátum: \_\_\_\_\_

- Maximálna nameraná hladina akustického tlaku na ulici bola \_\_\_dB.
- Nameraná bola v čase od \_\_\_hod\_\_\_min\_\_\_sek až do \_\_\_hod\_\_\_min\_\_\_sek.
- Minimálna nameraná hladina akustického tlaku v exteriéri, ktorú ukázal zvukomer, bola \_\_\_dB.
- Rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hladinou akustického tlaku bol \_\_\_dB.
- Najväčší nárast hladiny akustického tlaku sa vyskytol v čase \_\_\_hod\_\_\_min\_\_\_sek.

### 3.3.3. Ako sa mení hladina intenzity zvuku so vzdialenosťou?

**Úvod.** Hluk je často nežiadúci zvukový jav, ktorý nepriaznivo ovplyvňuje ľudské zdravie a psychiku. Pravidelné vystavenie sa vysokému hluku môže mať negatívne účinky na sluch a spôsobiť poškodenie uší, preto existujú legislatívne normy a smernice, ktoré stanovujú maximálne povolené úrovne hlučnosti v rôznych prostrediach, aby sa chránilo verejné zdravie. Podme si vyskúšať, ako môžeme merať hluk a jeho pokles so vzdialenosťou od zdroja.



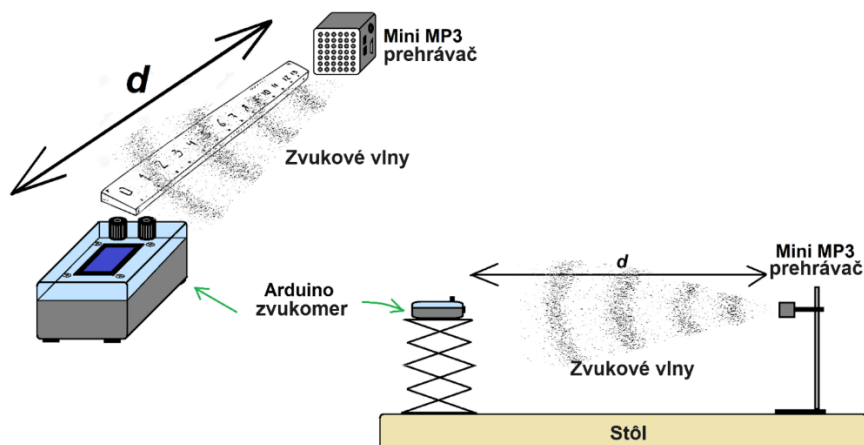
**Cieľ merania:** Cieľom experimentu je s využitím jednoduchého zvukomera zmerať pokles hladiny akustického tlaku so vzdialenosťou. Získané údaje spracovať napríklad v prostredí MS Excel a zistiť, či je splnený teoretický predpoklad o poklese hladiny akustického tlaku o 6 dB pri zdvojnásobení vzdialenosti od zdroja zvuku.

### 3.3.3.A. Postup merania

- Experimentálnu zostavu tvorí Arduino zvukomer, mini MP3 prehrávač, stojany a zvino-  
vací meter alebo dlhšie pravítko na meranie vzdialenosti.



- Usporiadajte experiment podľa obrázku. Zvukomer aj MP3 prehrávač umiestnite k sebe na vzdialenosť 5 cm. Je dôležité, aby zvukomer aj MP3 prehrávač boli nad stolom aspoň vo výške 50 cm, v opačnom prípade meranie skreslí doska stola, od ktorej sa bude zvuk odrážať. Meranie poskytuje najlepšie výsledky vtedy, ak sú zvukomer a zdroj zvuku na samostatných stoloch, medzi ktorými je medzera.
- Zvukomer netreba pripájať k počítaču, postačí ak ho budete napájať napr. 9 V DC adaptérom.
- Zapnite zvukomer pripojením k adaptéru a presvedčte sa, že v miestnosti je ticho. Pomocou potenciometrov nastavte opatrne pracovný bod zvukomera tak, aby ukazoval 25 dB (na meranie sa najlepšie hodí verzia programu s kľzavým priemerom).
- Zapnite MP3 prehrávač, na ktorom je zvukový súbor s bielym alebo ešte lepšie s ružovým šumom a nastavte hlasitosť tak, aby zvukomer ukazoval okolo 90 dB až 100 dB.
- Pre vzdialenosť 5 cm zaznamenajte hodnotu hladiny akustického tlaku.
- Postupne posúvajte MP3 prehrávač po piatich centimetroch až do vzdialenosti 1 m a vždy si zapíšte hodnotu hladiny akustického tlaku v decibeloch. Ak hodnoty neklesajú, alebo naopak klesajú až príliš, vypnite MP3 prehrávač a doladte hodnotu pracovného bodu, prípadne meranie opakujte.
- Hodnoty vzdialenosti a hladiny akustického tlaku zaznamenávajújte do tabuľky napr. v Exceli.
- Meranie sa pokúste zrealizovať za rôznych podmienok – napr. zdroj zvuku aj zvukomer ponechajte položený na stole a zväčšujte vzdialenosť medzi nimi, vymeňte zdroj zvuku za iný (napr. väčšie reproduktory), prípadne za spotrebič ako fén, vysávač a i. Na meranie skúste použiť iný zvukový signál (napr. si vygenerujte v Audacity sínusový signál s frekvenciou 1 kHz a pod. a výsledky porovnajte. Zároveň sa pokúste odpovedať na otázky v analýze merania.



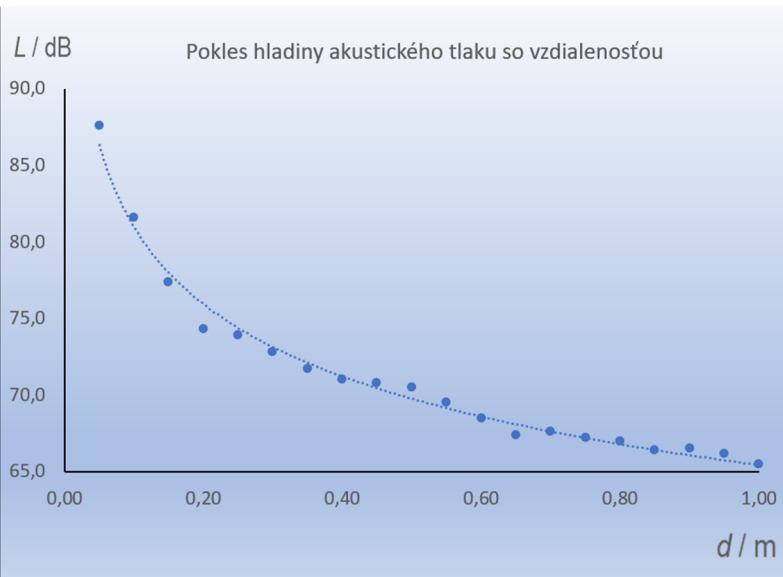
### 3.3.3.B. Analýza merania

Zo zaznamenaných hodnôt zostrojíte tabuľku a graf. Taktiež vypočítajte rozdiel medzi hladinami akustického tlaku pre dvojnásobok vzdialeností, ako je vidieť na obrázku s tabuľkou a grafom. Napr. hodnota 6,0 dB zodpovedá rozdielu hladiny akustického tlaku vo vzdialenostiach 5 cm a 10 cm, hodnota 7,3 dB predstavuje rozdiel medzi vzdialenosťami 10 cm a 20 cm, atď.

Výsledné hodnoty rozdielu hladín akustického tlaku si zaznamenajte tiež do tabuľky.

Ako vidieť, ideálne pravidlo pre šírenie hluku od bodového zdroja je v našom prípade splnené iba približne – priemerný pokles pri dvojnásobkoch vzdialeností je 4,63 dB.

n	d / m	L / dB	$\Delta L$ / dB
1	0,05	87,6	$L_1 - L_2 =$
2	0,10	81,6	
3	0,15	77,4	$L_2 - L_4 =$
4	0,20	74,3	
5	0,25	73,9	$L_3 - L_6 =$
6	0,30	72,8	
7	0,35	71,7	$L_4 - L_8 =$
8	0,40	71,0	
9	0,45	70,8	$L_5 - L_{10} =$
10	0,50	70,5	
11	0,55	69,5	$L_6 - L_{12} =$
12	0,60	68,5	
13	0,65	67,4	$L_7 - L_{14} =$
14	0,70	67,6	
15	0,75	67,2	$L_8 - L_{16} =$
16	0,80	67,0	
17	0,85	66,4	$L_9 - L_{18} =$
18	0,90	66,5	
19	0,95	66,2	$L_{10} - L_{20} =$
20	1,00	65,5	
Average:			4,63 dB



Na základe (vlastných) nameraných údajov sa pokúste odpovedať na nasledujúce otázky.

Dátum: \_\_\_\_\_

- Maximálna nameraná hladina akustického tlaku bola \_\_\_ dB.
- Minimálna nameraná hladina akustického tlaku bola \_\_\_ dB.
- Rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hladinou akustického tlaku bol \_\_\_ dB.
- Najväčší pokles hladiny akustického tlaku sme zaznamenali pri najväčšej / najmenšej vzdialenosti medzi zdrojom zvuku a zvukomerom (nehodiace sa prečiarknite).
- Priemerný rozdiel hladín akustického tlaku pri zmene vzdialenosti zdroja a zvukomera na dvojnásobok bol \_\_\_ dB.
- Táto hodnota rozdielu je presne / je približne / nie je v súlade s teoretickými predpokladmi (nehodiace sa prečiarknite).

## Literatúra

1. Degro, J. (2009). Školské experimenty s hlukomerom. Košice, UPJŠ. [online] [cit. 2023-06-27] <<https://physedu.science.upjs.sk/degro/pokus/expzvuk/ExpZvukHI.pdf>>.
2. 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>>.
3. Gray, R. M.; Neuhoff, D. L. (1998). Quantization. IEEE Transactions on Information Theory. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 44 (6): 2325–2383.
4. Adafruit (2023). [online] [cit. 2023-06-27] <<https://www.adafruit.com/product/1063>>.
5. Datasheet LP295x-N Series. (2017). [online] [cit. 2023-06-28] <[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2950-n.pdf?HQS=dis-mous-null-mousermode-dsf-pf-null-ww&ts=1687892430482&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2950-n.pdf?HQS=dis-mous-null-mousermode-dsf-pf-null-ww&ts=1687892430482&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252F)>.
6. 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)>.

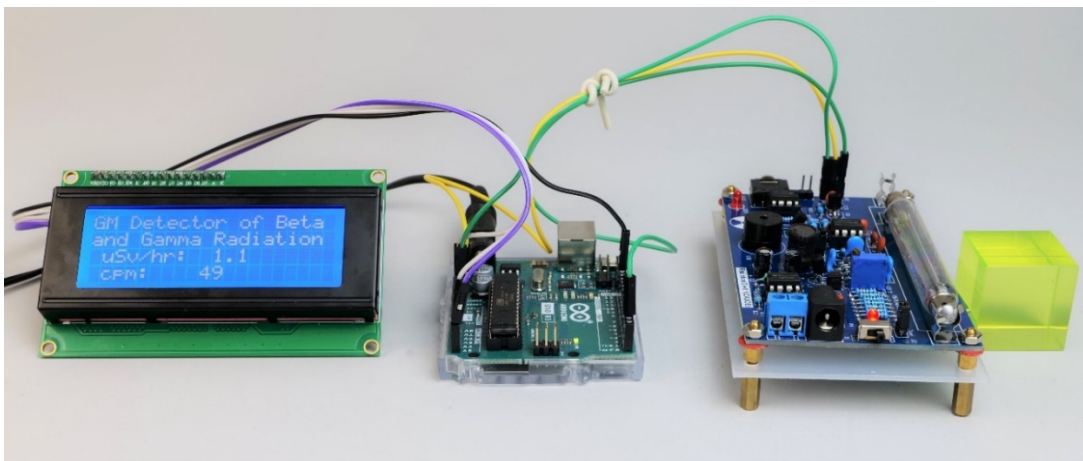
7. Frequency-Weightings for Sound Level Measurements (2023). [online] [cit. 2023-06-29] <<https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/frequency-weightings-for-sound-level-measurements>>.
8. Sound Level Frequency Weightings – A, B, C, D, Lin, Z. (2023). [online] [cit. 2023-06-29] <https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/frequency-weightings-for-sound-level-measurements>.
9. Výber spotrebiča podľa hladiny hluku (2019). [online] [cit. 2023-06-29] <<https://www.topbyvanie.sk/magazin/vyber-spotrebica-podla-hladiny-hluku>>.

## 4. KAPITOLA. JEDNODUCHÝ GEIGEROV-MÜLLEROV DETEKTOR S ARDUINOM

*Autorom kapitoly je Martin Hruška z UMB Banská Bystrica, Slovensko*

### 4.1. Trochu teórie na úvod

Pokiaľ potrebujeme merať ionizujúce žiarenie, môžeme si skonštruovať jednoduchý Geigerov-Müllerov (GM) detektor (obr. 4.1) s LCD displejom, založený na mikrokontroléri Arduino Uno.



**Obr. 4.1:** Jednoduchý GM detektor s mikrokontrolérom Arduino Uno; zľava doprava: LCD displej, Arduino Uno, GM detektor, kocka z uránového skla.

Údaje o meraných veličinách, ktoré sú stručne opísané nižšie, môžeme jednoducho zobrazíť na displeji, prípadne ich môžeme zaznamenávať aj do textového súboru pomocou sériového pripojenia Arduino GM detektora k počítaču USB káblom.

GM detektor sme navrhli tak, aby ho bolo možné jednak jednoducho skonštruovať s využitím niekoľkých cenovo prístupných modulov (Arduino, displej, GM set detektora s trubicou) a aby bola nenáročný na obsluhu najmä pri demonštračných experimentoch s ionizujúcim žiarením beta a gama.

#### 4.1.1. Ionizujúce žiarenie a jeho meranie

Ionizujúce žiarenie je druh vysokoenergetického žiarenia, ktorá má dostatočnú energiu na to, aby z atómu alebo z molekuly odstránilo elektrón. Takéto žiarenie dokáže spôsobiť chemické zmeny v bunkách a poškodzovať DNA, čo môže viesť až k rakovine. Priamo dokážu ionizovať alfa žiarenie (tvorené héliovými jadrami) a beta žiarenie (tvorené elektrónmi alebo pozitronmi). Nepriamo ionizuje napr. gama žiarenie (fotóny s vysokou energiou, ktoré vznikajú v jadre atómu). Naš Arduino detektor dokáže zaznamenať beta a gama žiarenie.

Rovnaké dávky rôznych druhov žiarenia môžu mať rôzne biologické účinky, všeobecne však platí, že pred ionizujúcim žiarením sa treba chrániť. Najčastejšie sa pred jeho účinkami chránime dodržaním dostatočnej vzdialenosti od zdroja žiarenia, tienením rôznymi materiálmi a časom – snažíme sa skrátiť pobyt v priestore so žiarením na čo najkratšiu dobu.

Problematika biologických účinkov ionizujúceho žiarenia je veľmi komplexná a preto si ani nekladieme za cieľ ich v nasledujúcom texte podrobne definovať a uvádzame iba tie,

ktoré sú z nášho pohľadu najdôležitejšie. Ich príslušné definície možno nájsť napríklad v nižšie spomenutých literárnych zdrojoch a v aktuálne platnej legislatíve.

Základnou veličinou, vyjadrujúcou biologický účinok jednotlivých druhov žiarenia pomocou radiačného váhového faktora, je *ekvivalentná dávka*, vyjadrovaná v jednotkách Sievert (Sv).

Ďalšou z veličín, ktorou sa vyjadruje biologický účinok žiarenia na človeka, je *dávkový ekvivalent*, zavedený najmä pre potreby osobnej dozimetrie. Je vyjadrovaný tiež v jednotkách Sievert (Sv) a vystihuje biologickú účinnosť rôznych druhov žiarenia v mäkkom tkanive v definovanej hĺbke pomocou faktora kvality. Dávkový ekvivalent sa napr. v monitorovacom systéme SHMÚ meria v podobe *príkionu dávkového ekvivalentu* v jednotkách nSv/h, čiže nanoSievert za hodinu (SHMÚ – Rádioaktivita, 2023). Túto veličinu – teda príkon dávkového ekvivalentu – zobrazuje aj nižšie opísaný GM detektor.

Ďalšou veličinou, súvisiacou s biologickými účinkami žiarenia, je *efektívna dávka*. Efektívnu dávku vypočítame ako súčet vážených ekvivalentných dávok vo všetkých orgánoch a tkanivách, vynásobených príslušným tkanivovým váhovým faktorom – číslom vyjadrujúcim rozdielny biologický účinok žiarenia (Nikodemová and Cabáneková, 2009). V tab. 4.1 je pre ilustráciu spracovaný prehľad ročných efektívnych dávok žiarenia z rôznych expozičných miest, spôsobených prírodnými zdrojmi ionizujúceho žiarenia.

**Tab. 4.1:** Prehľad ročných efektívnych dávok žiarenia z rôznych expozičných miest (Úrad jadrového dozoru SR, 2022).

Zdroj žiarenia		Ročná efektívna dávka [mSv]	
		Priemer	Typický rozsah
Kozmické žiarenie	Priamo ionizujúca a fotónová zložka	0,28	0,3 – 1,0
	Neutrónová zložka	0,1	
	Kozmogénne rádionuklidy	0,01	
	Spolu	0,39	
Externé terestriálne žiarenie	Pri pobyte v exteriéri	0,07	0,3 – 1,0
	Pri pobyte vo vnútri budov	0,41	
	Spolu	0,48	
Inhalácia	Uránový a thórový rozpadový rad	0,006	0,2 – 10
	Radón <sup>222</sup> Rn	1,15	
	Radón <sup>220</sup> Rn	0,1	
	Spolu	1,26	
Ingescia (príjem stravovaním)	Draslík <sup>40</sup> K	0,17	6

Je nutné povedať, že neexistuje hranica medzi „bezpečnou“ a „nebezpečnou“ dávkou – riziko dlhodobých účinkov ionizujúceho žiarenia je založené na pravdepodobnosti.

GM detektor, ktorý sa využíva na detekciu ionizujúceho žiarenia, je pomenovaný po fyzikoch Hansovi Geigerovi a Waltherovi Müllerovi, ktorí ho vyvinuli v 20. storočí. GM detektory sú založené na princípe ionizácie plynu. Obsahujú plynovú náplň, ktorá je ionizovaná, keď cez detektor prejde ionizujúce žiarenie. Ionizácia plynu vedie k tvorbe elektrických impulzov, ktoré sú detegované a zaznamenané detektorom. Detektory zaznamenávajú počet impulzov za určitý čas, napr. za sekundu (*cps* alebo *CPS* – *Counts Per Second*), alebo za minútu (*cpm* alebo *CPM* – *Counts Per Minute*), ako aj náš detektor. Princíp činnosti GM detektora je všeobecne známy a opísaný aj na mnohých internetových stránkach formou textov, obrázkov, animácií a videí, napr. (Abbas, 2022).

Prepočítať počet impulzov na dávkový ekvivalent, resp. na príkon dávkového ekvivalentu, však nie je jednoduché, keďže neexistuje jednoduchý konverzný faktor – číslo, ktorým by to bolo možné zrealizovať. Preto je najlepšie daný GM detektor okalibrovať podľa iného spoľahlivého detektora, prípadne sa spoľahnúť na údaje výrobcu danej konkrétnej trubice do GM detektora.

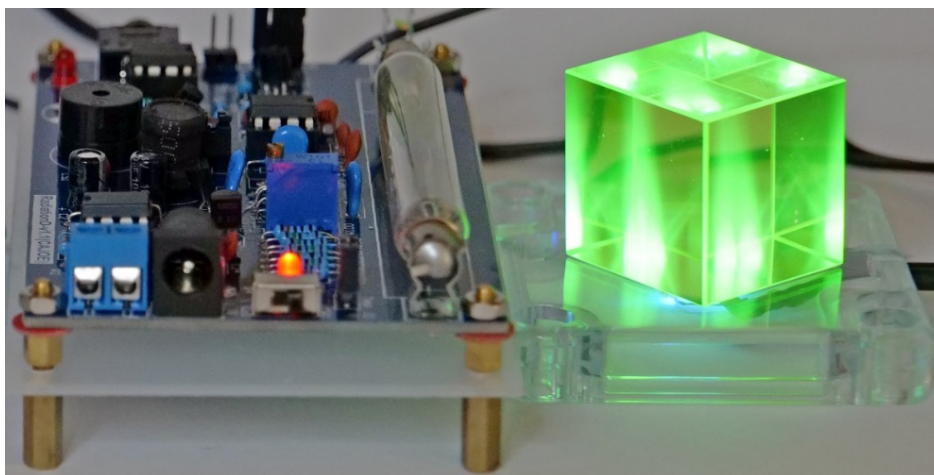
Viac o problematike ionizujúceho žiarenia, ako aj o jeho meraní, je možné nájsť v mnohých zdrojoch, ktoré sú dostupné aj na internete (Úrad jadrového dozoru SR, 2022), (Holá, 2009), (WHO, 2022), (Ryan, 2012), (Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2023), (United States Nuclear Regulatory Commission, 2020), atď.

#### 4.1.2. Stručný opis jednotlivých komponentov zostrojeného Arduino GM detektora

Arduino GM detektor je v súčasnosti na KF FPV UMB Banská Bystrica využívaný najmä ako demonštračné zariadenie, ktoré je umiestnené vo vitrínkach na chodbe pracoviska. GM detektor preto nie je osadený v montážnej krabičke, ale skladá sa zo samostatných prvkov.

LCD displej, mikrokontrolér Arduino Uno a GM detektor s trubicou sú navzájom prepojené vodičmi, pričom ako zdroj rádioaktívneho žiarenia je využitý malý kúsok uránového skla (obr. 4.2), ktoré je podsvietené UV LED diódami (oxid uraničitý fluoreskuje zelenou farbou pod UV-A žiarením s maximom pri vlnovej dĺžke 360 nm).

V takejto konfigurácii je samozrejme nebezpečné používať GM detektor na meranie v laboratóriu, **keďže na koncoch trubice detektora môže byť vysoké napätie okolo 500 V!!!** V prípade používania na meranie v laboratóriu odporúčame GM detektor prekryť priehľadným plexisklom, prípadne osadiť do montážnej krabičky tak, aby krabička obsahovala výrez pre aktívnu časť trubice GM detektora – medzi rádioaktívnym žiaričom a trubicou detektora by nemal byť žiadny nadbytočný materiál.



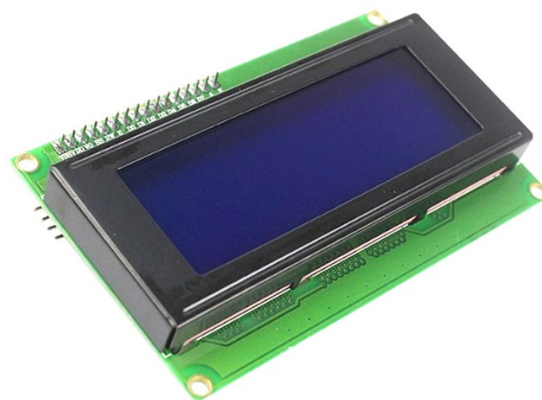
**Obr. 4.2:** Pohľad na GM detektor s trubicou a na kocku z uránového skla, podsvietenú LED UV-A diódami.

- **Arduino Uno, displej 20 x 4 s modrým podsvietením**

Ako už bolo uvedené vyššie, pre konštrukciu jednoduchého Arduino GM detektora budeme potrebovať mikrokontrolér Arduino UNO a LCD displej (obr. 4.3a, b). Tieto komponenty sú podrobnejšie spomenuté v kapitole 5, ktorý opisuje konštrukciu meteorologickej stanice, preto sa im nebudeme podrobnejšie venovať.



a)



b)

**Obr. 4.3:** Mikrokontrolér Arduino Uno (a) spolu s LCD displejom (b).

- **GM detektor**



**Obr. 4.4:** GM detektor RadiationD-v1.1(CAJOE) s trubicou J305β.

GM detektor označený ako RadiationD-v1.1(CAJOE) (obr. 4.4) s koaxiálnou valcovitou detekčnou trubicou, dokáže zachytiť beta a gama žiarenie s určitou energiou, v závislosti od použitej GM trubice. GM trubica J305β obsahuje katódu z oxidu cínu a je plnená inertným plynom s prídavkom halogénu na zhasenie impulzu.

Celková veľkosť pozadia dosahuje hodnotu okolo 25 cpm a jej životnosť je viac ako  $1 \cdot 10^9$  impulzov. Hraničná hodnota prevádzkového napätia je 550 V, rozsah pracovného napätia 380 V až 450 V. Keďže ide o lacnú „noname“ GM trubicu čínskej produkcie, o technických vlastnostiach sa skôr dočítame na rôznych obchodných stránkach. Porovnanie parametrov viacerých GM trubíc je k dispozícii online, napr. (IoT-devices, 2023).

Podobná situácia je aj v prípade GM detektora – základné parametre môžeme nájsť najmä na stránkach čínskych predajcov (Banggood.com, 2023). V súčasnej dobe je možné zakúpiť viacero rôznych verzií GM detektora, ktoré (podobne ako naše zariadenie) dokážu komunikovať s rôznymi mikrokontrolérmi, prípadne aj s minipočítačmi, ako je napr. Raspberry Pi. Z nášho pohľadu sú užitočné napríklad podrobnejšie informácie o konkrétnom zapojení a funkčnosti príbuzného GM detektora Libelium s tou istou GM trubicou J305β (Laquai, 2014).

Nami použitý GM detektor komunikuje s Arduino mikrokontrolérom prostredníctvom pinu VIN (a samozrejme aj GND), ktorý je potrebné pripojiť do pinu D2 Arduina.

Tento pin je v programe nastavený na vstup a slúži na zaznamenávanie impulzov GM detektora.

Ako si vysvetlíme nižšie pri komentovaní programu pre Arduino GM detektor, Arduino reaguje na pokles napätia na pine D2, resp. na jeho zostupnú hranu – pokles napätia spôsobí zvýšenie danej premennej o hodnotu jedna. Piny GND a 5 V DC slúžia na napájanie GM detektora. Detektor môže byť samozrejme napájaný aj iným externým zdrojom, napr. akumulátorom alebo batériami.

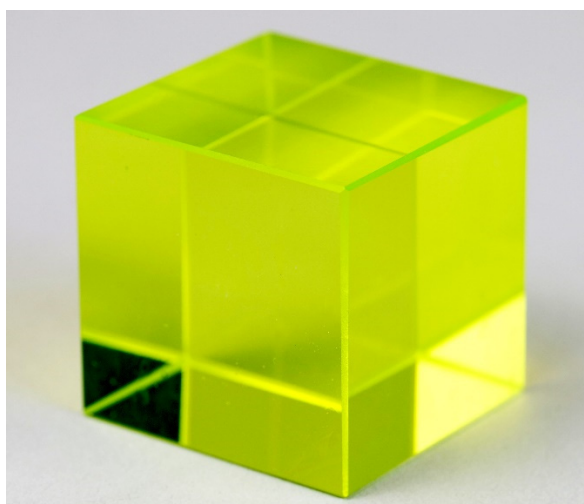
- **Minerál uraninit, resp. smolinec a uránové sklo**

Na nenáročné merania rádioaktivity sme sa rozhodli využiť zdroje prirodzenej rádioaktivity. Ide predovšetkým o minerály, ktoré obsahujú oxid uraníčitý, ako je napríklad uraninit (starší názov smolinec). Nami použitý minerál (obr. 4.5a) je v skutočnosti pieskovec s uránovou mineralizáciou (uraninit), vytvárajúcou čierny šikmý pruh v spodnej časti nerastu. Vek horniny je odhadovaný na Perm, ide teda o obdobie pred cca 290 miliónmi až 250 miliónmi rokov a bol nájdený na Slovensku.

Ďalej na demonštračné účely využívame aj uránové sklo (obr. 5b) s obsahom oxidu uraníčitého, pričom podľa všeobecne platnej legislatívy uránové sklo nesmie obsahovať viac ako 1 % (hmotnostné) uránu (Státní úrad pro jadernou bezpečnost, 2004).



a)



b)

**Obr. 4.5:** Minerál uraninit (a), ukážka uránového skla (b).

Je zaujímavé, že v súčasnosti sa na výrobu uránového skla používa ochudobnený urán, v ktorom je pomer izotopov  $^{238}\text{U} : ^{235}\text{U} = 40 : 1$ , a to z toho dôvodu, že izotop  $^{235}\text{U}$  sa využíva v jadrových elektrárňach a aj vo vojenskom priemysle. V uránovom skle vyrobenom pred druhou svetovou vojnou je pomer týchto izotopov  $25 : 1$  (Tenzler, 2016).

Vzhľadom na nepatrný obsah uránu sklo emituje rádioaktívne alfa, beta a gama žiarenie, ktoré vznikajú samovoľne pri premene rádionuklidov tzv. uránového alebo urán-rádiového rozpadového radu (United States Environmental Protection Agency, 2023). Jeho prvým členom je izotop uránu  $^{238}\text{U}$ , ktorý tvorí 99,27 % všetkého prírodného uránu. Minerál uraninit, použitý na meranie, obsahuje viac prírodného uránu ako uránové sklo a preto je aj zdrojom silnejšieho ionizujúceho žiarenia.



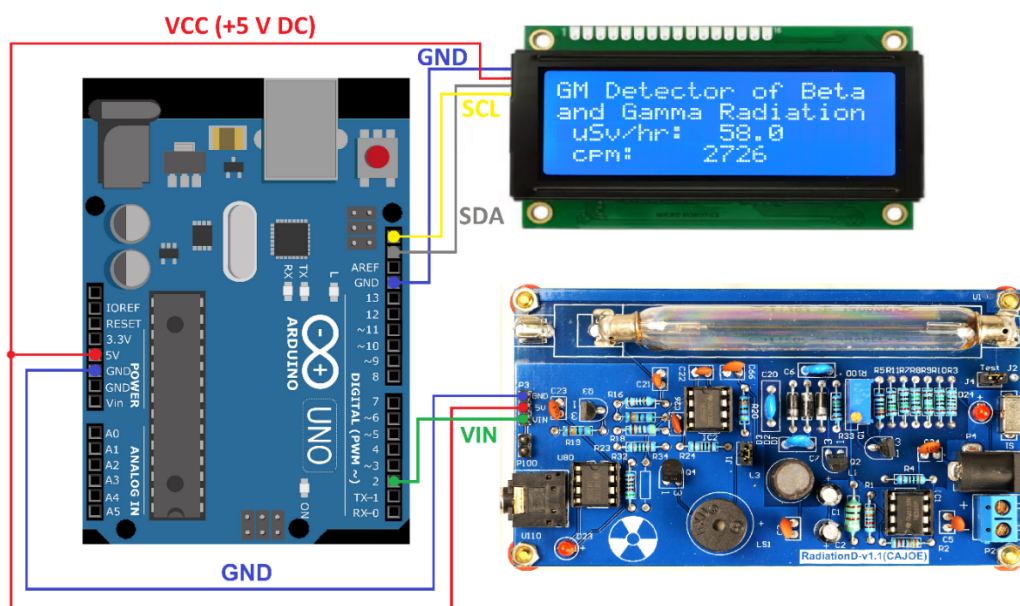
Zaujímavosťou je, že žiarenie gama je v uránovom rozpadovom rade z najväčšej časti emitované produktmi rozpadu  $^{226}\text{Ra}$ , preto je meraním žiarenia gama prítomnosť uránu v horninách určovaná nepriamo (Matolín, 1970).

## 4.2. Opis experimentálneho vybavenia

### 4.2.1. Opis zapojenia a konštrukcie Arduino GM detektora

Schéma prepojenia mikrokontroléra Arduino Uno s LCD displejom a GM detektorom je znázornená na obr. 4.6. Ako už bolo uvedené pri opise meteorologickej stanice, ako aj pri opise hlukomera, LCD displej využíva na komunikáciu s mikrokontrolérom Arduino Uno sériové rozhranie I<sup>2</sup>C.

Preto je dátový prenos zabezpečený iba pomocou dvoch vodičov, pričom vodič označený ako SCL (Serial Clock) slúži na taktovanie komunikácie a druhý vodič označený ako SDA (Serial Data) na prenos dát. Okrem toho je displej napájaný pomocou vodičov GND a 5 V DC.



Obr. 4.6: Zapojenie Arduino GM detektora.

GM detektor vyžaduje na pripojenie k Arduino tri vodiče – dva z nich (GND a 5V DC) slúžia na napájanie a tretí (VIN), ktorý sa pripája k digitálnemu pinu Arduino (D2), na počítanie impulzov detektora.

Zapojenie aj v tomto prípade zrealizujeme pomocou vodičov, pričom pre pripojenie k Arduino je najlepšie využiť vodiče s koncovkami DuPont typu M (Male) ako aj F (Female) – príklad takýchto vodičov je zobrazený v kapitole týkajúcej sa meteorologickej stanice a jednoduchého Arduino hlukomera.

### 4.2.2. Naprogramovanie Arduino GM detektora a opis programu

Program Arduino GM detektora pravidelne meria počet impulzov (cpm) po dobu 10 sekúnd a vypočítava príkon dávkového ekvivalentu v jednotkách  $\mu\text{Sv/h}$ . Tieto hodnoty sú potom zobrazené na LCD displeji a tiež vypísané cez sériový prenos do počítača.

V prvej časti programu (obr. 4.7) sa načítajú knižnice *Time.h* a *LiquidCrystal\_I2C.h*, ktoré sú potrebné pre prácu s časom a ovládanie LCD displeja.

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 }
```

Obr. 4.7: Úvodná časť programu Arduino GM detektora.

Pozn.: symbol dvojitého lomítka „//“ v programe znamená, že text, ktorý je za ním, bude programom ignorovaný. Preto sem môžeme napísať vysvetľujúce komentáre k jednotlivým častiam programu.

Taktiež sa zdefinujú premenné, súvisiace s meraním počtu impulzov (premenná *counts*) a času (premenná *previousMillis*), nastaví sa interval merania na 10 s a konverzné faktory pre výpočet cpm a príkonu dávkového ekvivalentu v  $\mu\text{Sv/h}$ . Druhá spomenutá hodnota bola upravená podľa výsledkov merania pomocou GM detektora Vernier s typovým označením TH30044 (obr. 4.8). Nakoniec sa v úvode programu deklaruje funkcia *impulse()*, v rámci ktorej sa budú počítať impulzy prostredníctvom premennej *counts*.



Obr. 4.8: Meranie aktivity uraninitu pomocou GM detektora Vernier TH30044.

V inicializačnej časti programu *void setup()* je inicializovaný pripojený hardvér, teda sériová komunikácia pre prípadné pripojenie k počítaču cez USB a LCD displej (obr. 4.9). GM detektor netreba inicializovať – keďže generuje napäťové impulzy, stačí nastaviť pripojený digitálny pin č. 2 Arduina ako vstup a vytvoriť externé prerušenie k funkcii *impulse()*.

Táto funkcia sa spustí pri každej zostupnej hrane napäťového signálu na vstupnom pine č. 2 a zároveň zvýši premennú *counts* o jedna (funkcia *counts++* predstavuje skrátenejší zápis pre zvýšenie hodnoty premennej *counts* o 1). Toto vyjadrenie je ekvivalentné zápisu *counts = counts + 1* alebo *counts += 1*, pričom operácia sa nazýva inkrementácia. V *setup()* funkcii sa tiež inicializuje premenná *counts* na hodnotu 0.

Takéto nastavenie funkcie *impulse()* nám umožňuje sledovať celkový počet impulzov, ktoré boli detegované počas určitého časového obdobia (v našom prípade 10 s).

V ďalšom kroku cez sériovú komunikáciu a aj na displeji vypíšeme základnú informáciu o detektore, ako aj symboly, ktoré netreba počas merania obnovovať (cpm a  $\mu\text{Sv/hr}$ ).

```
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:  $\mu\text{Sv/hr}$ :");
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("uSv/hr: ");
37     lcd.setCursor(1,3);
38     lcd.print("cpm:  ");
39 }
```

**Obr. 4.9:** Inicializácia hardvéru.

Hlavná slučka programu (*loop()*) vykonáva meranie a výpočty (obr. 4.10).

Premenné *usv* a *cpm*, ktoré sú typu *String*, nám umožňujú zaznamenávať hodnoty dávkového ekvivalentu v mikroSievertoch za hodinu ( $\mu\text{Sv/hr}$ ) a počet impulzov za minútu (cpm) vo forme textu. V programe sa hodnoty príkonu dávkového ekvivalentu vypočítajú z hodnoty cpm a uložia do týchto premenných. Následne sa vypíšu cez sériový monitor a zobrazia na LCD displeji.

V hlavnej časti programu sa premenná *currentMillis* inicializuje funkciou *millis()*, ktorá vracia počet milisekúnd od spustenia programu.

Podmienka „if“ slúži na porovnanie rozdielu medzi *currentMillis* a *previousMillis* s hodnotou *LOG\_PERIOD* nastavenou na 10 000 ms. Táto podmienka je splnená, ak uplynula stanovená doba. Vnútri podmienky sa najprv skontroluje, či bola detegovaná aspoň jedna hodnota impulzu z GM detektora (*counts* != 0).

Ak je podmienka splnená, program získa aktuálny čas pomocou funkcie *now()* a uloží ho do premennej *t*. Ďalej sa čas prepočíta na sekundy (*minute(t) \* 60*) + *second(t)* a uloží sa do premennej *time*.

Potom sa vypočíta príkon dávkového ekvivalentu v jednotkách  $\mu\text{Sv/hr}$  (*counts \* usv\_multiplier*) a uloží sa do premennej *usv*. Táto hodnota sa vypíše na sériový monitor a na LCD displej na prvý riadok. Rovnakým spôsobom sa vypočíta počet impulzov v jednotkách cpm (*counts \* cpm\_multiplier*) a uloží sa do premennej *cpm*. Táto hodnota sa tiež vypíše na sériový monitor a na LCD displej. Na konci slučky sa premenná *counts* zresetuje na hodnotu 0.

```

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         Serial.println();
76         counts = 0;
77     }
78 }
79

```

**Obr. 4.10:** Hlavná slučka programu Arduino GM detektora.

### 4.2.3. Zber dát prostredníctvom počítača

Ako sme už uviedli, pre samotný zber dát pomocou počítača môžeme s výhodou využiť niektorý z voľne dostupných programov, ktorý dokáže zaznamenávať dáta posielané sériovým prenosom z Arduina cez USB konektor do textového súboru. Nám sa najlepšie osvedčila najnovšia verzia programu *CoolTerm*.

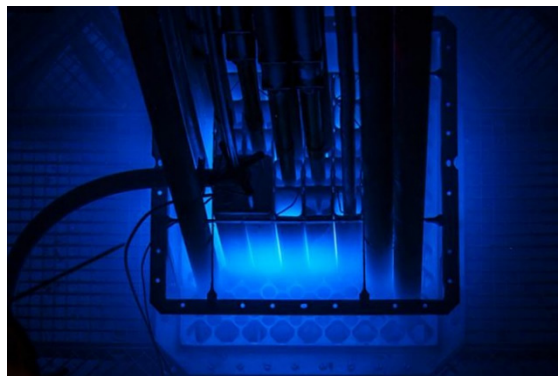
Inštaláciu tohto programu, ako aj zber dát do textového súboru a ich prenos do tabuľkového kalkulátora MS Excel podrobnejšie opisujeme v kapitole 5 zameranej na konštrukciu a využitie jednoduchej meteorologickej stanice, preto sa už touto problematikou zaoberať nebudeme.

V nasledujúcej časti prinášame návrh aktivít, ktoré sú zamerané na ochranu pre ionizujúcim žiarením – vzdialenosťou a tienením.

## 4.3. Úlohy

### 4.3.1 Ako sa chrániť pred radiáciou 1 – ochrana vzdialenosťou

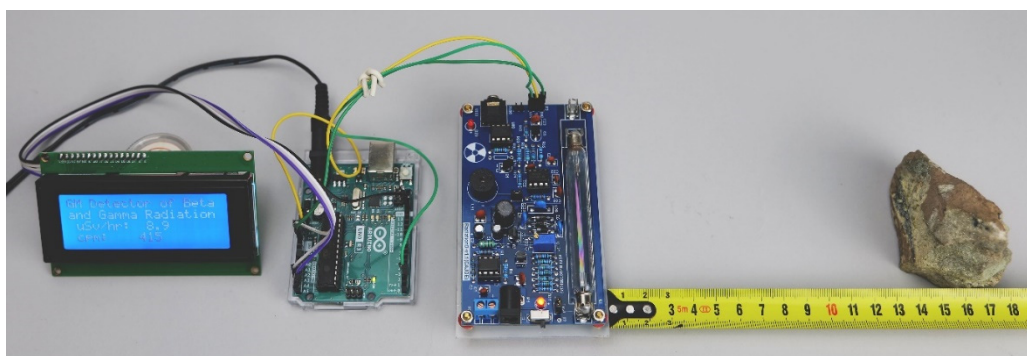
**Úvod:** Ako viete, medzi hlavné druhy ionizujúceho žiarenia patrí alfa, beta a gama žiarenie. Urán, ktorý sa v prírode vyskytuje najmä v podobe oxidu uraničitého, je zdrojom všetkých troch typov žiarenia a jeho izotop  $^{235}\text{U}$  sa navyše využíva v jadrových reaktoroch a na vojenské účely, keďže sa dokáže štiepiť na ľahšie produkty. Ionizujúce žiarenie sa využíva aj v lekárstve napríklad v rôznych zobrazovacích metódach, ako sú röntgen, počítačová tomografia, pozitronová emisná tomografia a i. My si však ukážeme, ako sa pred ním môžeme jednoducho chrániť. Ako zdroj žiarenia využijeme malý kúsok uránovej rudy – uraninitu a ako detektor Arduino GM detektor, ktorý dokáže zachytiť beta a gama žiarenie.



**Cieľ merania:** Cieľom experimentu je s využitím jednoduchého Arduino GM detektora zmerať závislosť počtu impulzov za minútu a príkonu dávkového ekvivalentu od vzdialenosti medzi GM trubicou a žiaričom.

#### 4.3.1.A. Postup merania

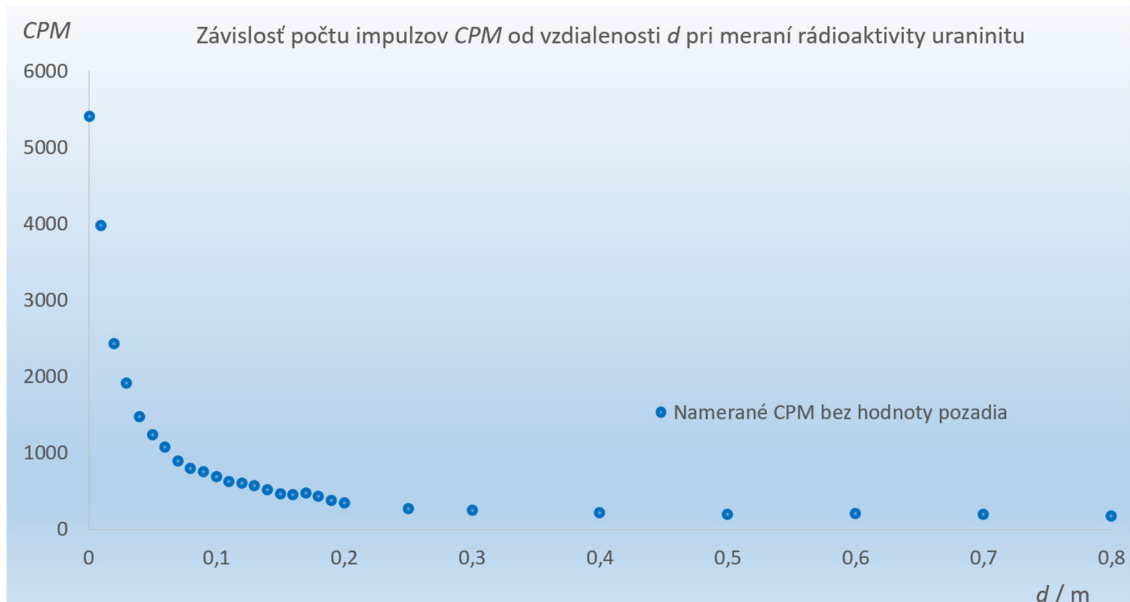
- Experimentálnu zostavu tvorí Arduino GM detektor, meracie pásmo alebo pravítko a uránová ruda, ako vidno na obrázku nižšie.
- Pred začiatkom vlastného merania najprv určte hodnotu pozadia – GM detektor nechajte merať bez žiariča a z desiatich nameraných hodnôt počtu impulzov za minútu vypočítajte radiáciu pozadia.
- Uránovú rudu priložte čo najbližšie k trubici GM detektora a 10-krát zaznamenajte hodnotu počtu impulzov (cpm). Môžete si ich zapisovať priamo do Excelu, alebo zaznamenávať do textového súboru cez program *CoolTerm*. Zaznamenajte si takisto hodnoty príkonu dávkového ekvivalentu.



- Uránovú rudu posúvajte po jednom centimetri a pre každú vzdialenosť si zaznamenajte 10 hodnôt počtu impulzov. Takto postupujte až do 20 cm.
- Po prekonaní vzdialenosti 20 cm môžete posúvať žiarič po piatich alebo desiatich centimetroch až do vzdialenosti 1 m.
- Pre každú vzdialenosť si nezabudnite zaznamenať 10 hodnôt počtu impulzov za minútu a hodnoty príkonu dávkového ekvivalentu.

- Pre každú vzdialenosť vypočítajte priemernú hodnotu počtu impulzov za minútu. Nezapodíajte odpočítať hodnotu pozadia.
- Zostrojte graf závislosti priemerného počtu impulzov do vzdialenosti.

#### 4.3.1.B. Analýza merania



Na obrázku je znázornená závislosť počtu impulzov (cpm) od vzdialenosti  $d$  pre uránovú rudu, ktorá bola použitá pri našom meraní. Ako vidieť, počet impulzov za minútu so vzdialenosťou klesá. Ide však o komplikovanú závislosť, ktorá je ovplyvnená viacerými faktormi (geometria žiariča, geometria GM trubice, rozličné správanie sa beta a gama žiarenia pri prechode vzduchom a i.), preto ju nevyjadrujeme trendovou čiarou a ani trendovou rovnicou.

Na základe (vlastných) nameraných údajov sa pokúste odpovedať na nasledujúce otázky.

Dátum: \_\_\_\_\_

- Počet impulzov za minútu má so vzdialenosťou stúpajúcu / klesajúcu tendenciu (nehodiace sa prečiarknite).
- Maximálna nameraná hodnota bola \_\_\_\_\_ cpm pri vzdialenosti \_\_\_\_\_ cm.
- Minimálna nameraná hodnota bola \_\_\_\_\_ cpm pri vzdialenosti \_\_\_\_\_ cm.
- Bežná efektívna dávka žiarenia je 13 mSv za rok. Dávka žiarenia, v tesnej blízkosti použitého žiariča, bola \_\_\_\_\_  $\mu\text{Sv/h}$ .
- Dávka žiarenia, vo vzdialenosti 20 cm od použitého žiariča bola \_\_\_\_\_  $\mu\text{Sv/h}$ .
- Dávka žiarenia, vo vzdialenosti 1 m od použitého žiariča bola \_\_\_\_\_  $\mu\text{Sv/h}$ .

### 4.3.2. Ako sa chrániť pred radiáciou 2 – ochrana tienením

**Úvod:** Niekedy je potrebné, aby sme sa pred radiáciou chránili. Jednou z možností je aj ochrana tienením.

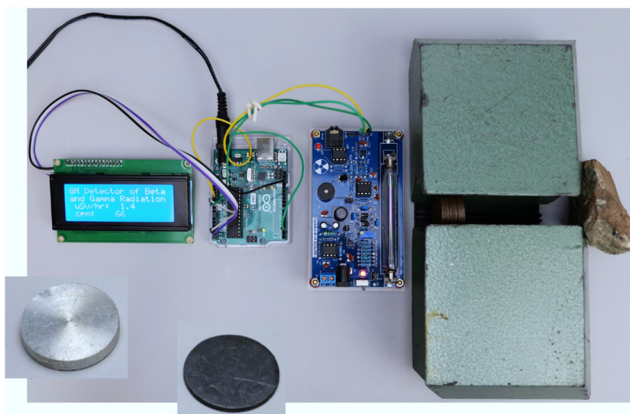
Ako vieme, urán emituje všetky tri druhy žiarenia, pričom gama žiarenie má najväčší dolet a prenikavosť. Na ochranu pred gama žiarením je najlepšie používať materiály s vysokým protónovým číslom a vysokou hustotou (olovo, betón, oceľ, volfrám) a pod. Podme si vyskúšať, ako vlastne také radiačné tienenie funguje. Čo sa nám v prípade uránovej rudy osvedčí viac – olovo alebo hliník?

**Cieľ merania:** Cieľom experimentu je s využitím jednoduchého Arduino GM detektora zmerať závislosť počtu impulzov za minútu (cpm) od hrúbky kovového materiálu – hliníkových a olovených kotúčikov.



#### 4.3.2.A. Postup merania

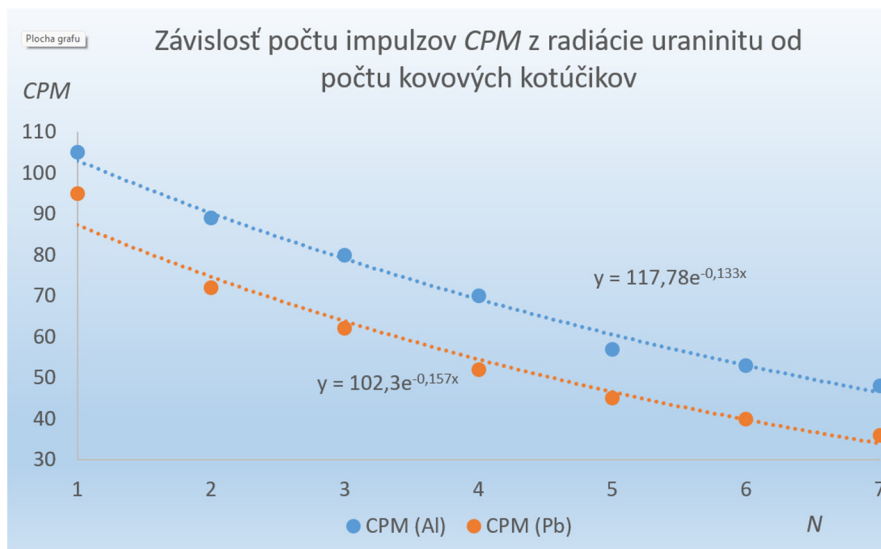
- Experimentálnu zostavu usporiadajte podobne, ako je vidieť na obrázku. Medzi Arduino GM detektorom a uránovou rudou sú umiestnené dva olovené bloky. Tak vznikol úzky tunel, do ktorého prierezu je možné ukladať kovové disky. Tým zabezpečíme, že žiadne iné žiarenie z uránovej rudy do detektora neprenikne. Na obrázku sú viditeľné aj hliníkový a olovený disk s priermi 3,5 cm. Hrúbka použitého hliníkového kotúčka bola 0,5 cm, oloveného 1 mm.



- Do tunela medzi olovené tehly vkladajte postupne kovové kotúčiky. Pre každý počet kotúčikov  $N$  určte desať hodnôt impulzov za minútu (cpm). Následne pre každý počet kotúčikov spočítajte priemernú hodnotu cpm. Všetky hodnoty si zaznačte napr. do Excelu.
- Zostrojte grafy závislosti počtu impulzov cpm od počtu kotúčikov.

#### 4.3.2.B. Analýza merania

Na obrázku nižšie je znázornený graf závislosti počtu impulzov od počtu kovových kotúčikov. Ak cez obidve závislosti preložíme trendovú čiaru, zistíme, že ich najlepšie exponenciálna závislosť, čo je aj v súlade s teóriou. (Pokiaľ by sme chceli, sme schopní z nameraných údajov spočítať aj ďalšie fyzikálne parametre pre obidva materiály, ako je napr. ich lineárny absorpčný koeficient, čo však presahuje svojou náročnosťou účel týchto materiálov.



Na základe (vlastných) nameraných údajov sa pokúste odpovedať na nasledujúce otázky.

Dátum: \_\_\_\_\_

- Počet impulzov za minútu má v oboch prípadoch s rastúcou hrúbkou materiálu (počtom kotúčikov) stúpajúcu / klesajúcu tendenciu (nehodiace sa prečiarknite).
- V prípade hliníka bola nameraná maximálna hodnota \_\_\_\_ cpm pri počte kotúčikov  $N =$  \_\_\_\_.
- V prípade olova bola nameraná maximálna hodnota \_\_\_\_ cpm pri počte kotúčikov  $N =$  \_\_\_\_.
- V prípade hliníka bola nameraná minimálna hodnota \_\_\_\_ cpm pri počte kotúčikov  $N =$  \_\_\_\_.
- V prípade olova bola nameraná minimálna hodnota \_\_\_\_ cpm pri počte kotúčikov  $N =$  \_\_\_\_.
- Celková hrúbka použitých hliníkových kotúčikov bola \_\_\_\_ cm.
- Celková hrúbka použitých olovených kotúčikov bola \_\_\_\_ cm.
- Pokiaľ uvážime, aká bola hrúbka kotúčikov z hliníka a z olova, hliník / olovo je oveľa lepší materiál na ochranu pred ionizujúcim žiarením pochádzajúcim z uránovej rudy (nehodiace sa prečiarknite).



## Literatúra

1. SHMÚ – Rádioaktivita. 2023. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.shmu.sk/sk/?page=20>>.
2. Nikodemová, D., Cabáneková, H. (2009). Radiačná ochrana. SZU Bratislava. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.nuclear.sk/wp-content/uploads/2021/06/Nikodemova-radiacna-ochrana.pdf>>.
3. 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)>.
4. Zákon č. 119/2023 Z. z. (2023). [online] [cit. 2023-07-12] <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2023/119/20230415>>.
5. Úrad jadrového dozoru SR. 2022. Základné údaje o rádioaktivite. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.ujd.gov.sk/jadrovyy-program/zakladne-udaje-o-radioaktivite/>>.
6. Abbas, A. (2022). Geiger Muller Counter-Construction and Working of Geiger Muller Counter. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://eduinput.com/geiger-muller-counter/>>.
7. 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>>.
8. 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>>.
9. 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/>>.
10. 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)>.
11. United States Nuclear Regulatory Commision. (2020). [online] [cit. 2023-07-11] <<https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/measuring-radiation.html>>.
12. 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/>>.
13. 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&rmmds=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&rmmds=search&cur_warehouse=CN&akmClientCountry=SK)>.
14. Laquai, B. (2014). Geigerzähler-Shield für den Arduino von Libelium. [online] [cit. 2023-07-11] <<http://www.opengeiger.de/LibeliumDoku.pdf>>.
15. 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>>.
16. United States Environmental Protection Agency. (2023). Radioactive Decay. [online] [cit. 2023-07-12] <<https://www.epa.gov/radiation/radioactive-decay>>.
17. Matolín, M. (1970). Rádioaktivita hornin českého masívu. Praha : Academia, 1970, p. 99.
18. Tenzler, D. (2016). Rádioaktivita, která se stala uměním – uranové sklo. [online] [cit. 2023-07-11] <<https://danatenzler.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=545595>>.

## 5. KAPITOLA. Jednoduchá meteorologická stanica s ARDUINOM

*Autorom kapitoly je Martin Hruška z UMB Banská Bystrica, Slovensko*

### 5.1. Trochu teórie na úvod

Pokiaľ potrebujeme zaznamenávať základné meteorologické údaje (tlak vzduchu, teplotu, vlhkosť vzduchu a pod.), môžeme si skonštruovať jednoduchú meteorologickú stanicu (obr. 5.1) s LCD displejom s využitím mikrokontroléra Arduino Uno.



**Obr. 5.1:** Jednoduchá meteorologická stanica s mikrokontrolérom Arduino Uno.

Pomocou displeja môžeme meteorologické údaje jednoducho zobrazíť, no zároveň ich môžeme aj zaznamenávať do textového súboru pomocou sériového pripojenia meteostanice k počítaču USB káblom.

Meteorologickú stanicu sme navrhli tak, aby ju bolo možné jednak jednoducho skonštruovať s využitím niekoľkých cenovo prístupných modulov (Arduino, displej, tri senzory), no zároveň aby vykazovala vysokú spoľahlivosť v rámci dlhodobých meraní a bola nenáročná na obsluhu a inštaláciu.

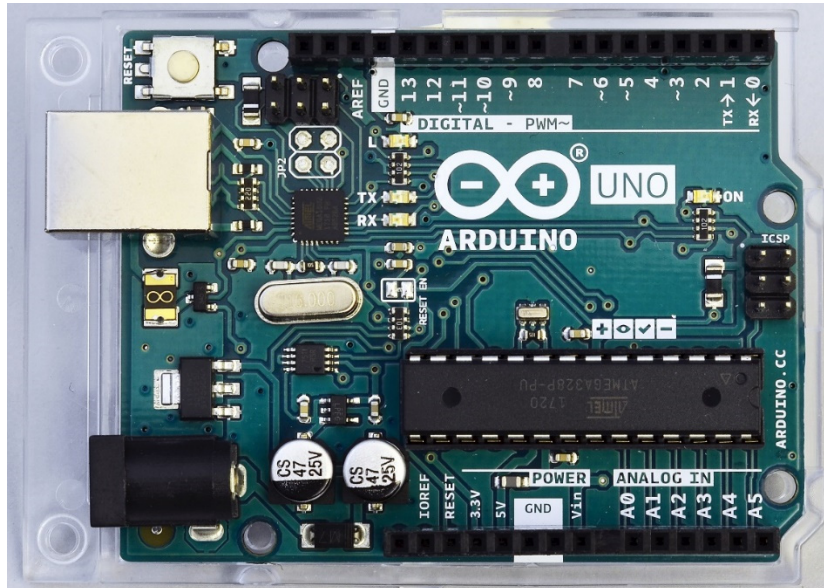
Na základe vlastnej skúsenosti sa nám najviac osvedčila kombinácia jednoduchého LCD displeja a troch senzorov. Senzor BH170 slúži na meranie osvetlenia, resp. intenzity osvetlenia v luxoch. Senzor BMP180 umožňuje merať barometrický tlak a senzor HTU21D zaznamenáva relatívnu vlhkosť vzduchu a jeho teplotu.

#### 5.1.1. Stručný opis jednotlivých komponentov meteorologickej stanice

- **Arduino Uno**

Pre konštrukciu jednoduchej meteorologickej stanice sme si vybrali dosku Arduino UNO (obr. 5.2). Tento mikrokontrolér je vhodný pre prvú skúsenosť s vytváraním vlastných projektov. Je preň vytvorených najviac projektov a je na verejne dostupných fórach aj najviac opísaný. Mikrokontrolér Arduino UNO pracuje s mikroprocesorom ATmega328P. Je to 8-bitový 16 MHz jednojadrový procesor, ktorý má 32 kB programovú pamäť a 1024-bajtovú EEPROM. Doska

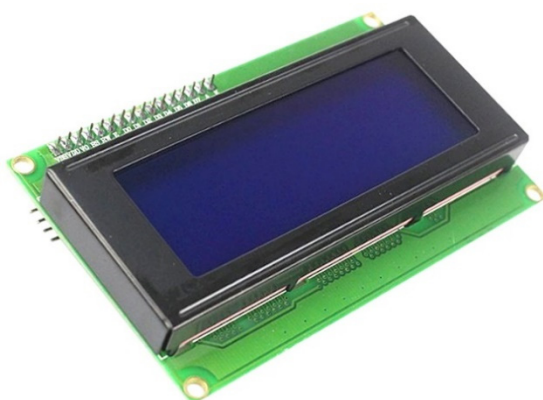
disponuje 14 digitálnymi vstup/výstup pinmi, 6 analógovými pinmi, USB konektorom, napájacím konektorom a reštartovacím tlačidlom. Mikrokontrolér môže byť napájaný cez USB alebo cez napájací konektor DC adaptérom alebo externou batériou s napätím od 6 V až do 15 V (Voda et al., 2018).



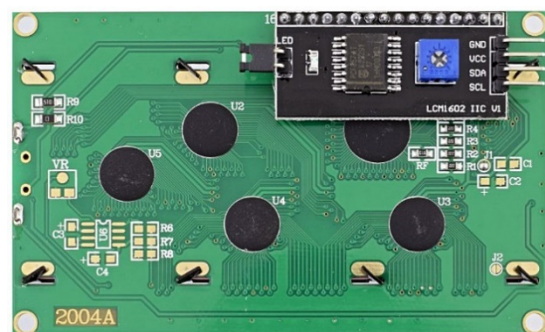
Obr. 5.2: Mikrokontrolér Arduino Uno.

- **LCD displej 20 x 4**

Ide o štandardný LCD displej s modrým podsvietením, s počtom znakov v riadku 20 a so štyrmi riadkami (obr. 5.3a, b). Súčasťou displeja je aj I<sup>2</sup>C zbernica, ktorá umožňuje jeho pripojenie k Arduino pomocou štyroch vodičov: SLC, SDA, GND a 3,3 V alebo 5 V DC. rozhrania na zadnej strane displeja je možné nastaviť jeho kontrast v závislosti od napájania. Zároveň je možné spínať podsvietenie displeja – v našom prípade sme kontakty prepojili tak, aby podsvietenie displeja svietilo kontinuálne.



a)



b)

Obr. 5.3a, b: LCD displej 20 x 4 s modrým podsvietením a s I<sup>2</sup>C rozhraním.

Displej na správne fungovanie vyžaduje nainštalovať do prostredia Arduino IDE v počítači knižnicu *LiquidCrystal\_I2C.h*, ktorá je voľne dostupná na internete. Knižnicu najjednoduchšie nainštalujeme tak, že ju v podobe ZIP-archívu stiahneme do počítača. Následne v prostredí

Arduino IDE na karte *Sketch* zvolíme možnosť *Include Library/Add ZIP.Library...*, vyberieme umiestnenie stiahnutého ZIP-súboru s knižnicou a potvrdíme.

O úspešnom nainštalovaní knižnice nás bude informovať Arduino IDE textovým upozorením.

- **Senzor intenzity osvetlenia BH1750**

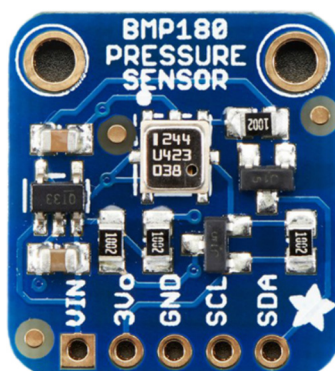


**Obr. 5.4:** Senzor BH1750, určený na meranie intenzity osvetlenia v luxoch.

Senzor intenzity osvetlenia (obr. 5.4) komunikuje pomocou I<sup>2</sup>C rozhrania, pričom nameranú intenzitu svetla prevádza na digitálny výstup vo forme číselnej hodnoty. Výsledok merania je vyjadrený v luxoch v intervale od 0 lx až po 65535 lx – senzor teda obsahuje 16-bitový AD prevodník, ktorý poskytuje až  $2^{16}$  hodnôt intenzity osvetlenia. Teplotný prevádzkový rozsah senzora je od -40 °C až po +85 °C a bežný prúdový odber dosahuje zanedbateľných 0,12 mA. Senzor je prispôsobený spektrálnym vlastnostiam ľudského oka. Ako vidieť na obr. 7 nižšie, pre napájanie tohto aj ostatných dvoch meracích modulov sme použili napätie 3,3 V DC poskytované priamo Arduino mikrokontrolérom. Senzor sa nehodí na aplikácie, kde potrebujeme merať veľmi rýchle zmeny teploty, pretože minimálna doba medzi nameranými hodnotami dosahuje podľa výrobcu 120 ms až 180 ms.

Senzor sa môže použiť v troch režimoch v závislosti od toho, ako rýchlo a ako presne chceme merať intenzitu osvetlenia. Pri dvoch pomalších režimoch merania môžeme dosiahnuť rozlíšenie 1 lx (*H-Resolution Mode*) prípadne až 0,5 lx (*H-Resolution Mode2*), pričom meranie trvá 120 ms až 180 ms. Pokiaľ nastavíme rýchly režim merania s nízkym rozlíšením 4 lx (*L-Resolution Mode*), meranie bude trvať 16 ms až 24 ms. Režim vysokého rozlíšenia je užitočnejší napríklad pri meraní nižších hodnôt osvetlenia, kedy dosiahneme aj nižšie hodnoty šumu. Rozmery senzora sú 18,6 mm x 14,5 mm. Senzor disponuje dvoma montážnymi otvormi a využíva knižnicu *BH1750.h*, ktorá je voľne dostupná na internete (Siepert, 2022, Datasheet BH1750, 2011).

- **Senzor barometrického tlaku BMP180**

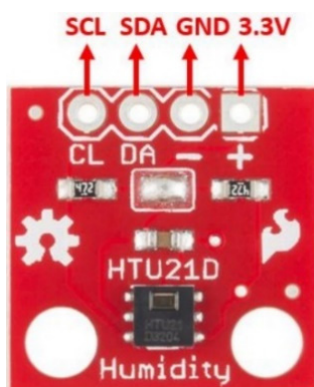


**Obr. 5.5:** Senzor BMP180 určený na meranie barometrického tlaku.

Senzor na meranie barometrického tlaku BMP180 (obr. 5.5) od firmy Bosch dokáže okrem tlaku merať aj teplotu (túto funkciu však v našom zapojení kvôli nevyhovujúcej presnosti merania nevyužijeme). Typická presnosť merania tlaku je  $\pm 1$  hPa, pričom senzor meria tlak v rozsahu od 300 hPa až po 1100 hPa. Tento senzor taktiež komunikuje pomocou I<sup>2</sup>C rozhrania, takže na pripojenie k Arduinu postačia 4 vodiče. Rozmery senzora sú 21 mm x 18 mm. Senzor disponuje dvoma montážnymi otvormi na uchytenie (Datasheet BMP180, 2013).

Senzor BMP180 používa knižnicu *Adafruit\_BMP180.h*, ktorá je voľne dostupná na internete. Daná knižnica je kompatibilná pre senzory BMP085 aj BMP180.

- **Senzor relatívnej vlhkosti a teploty HTU21D**



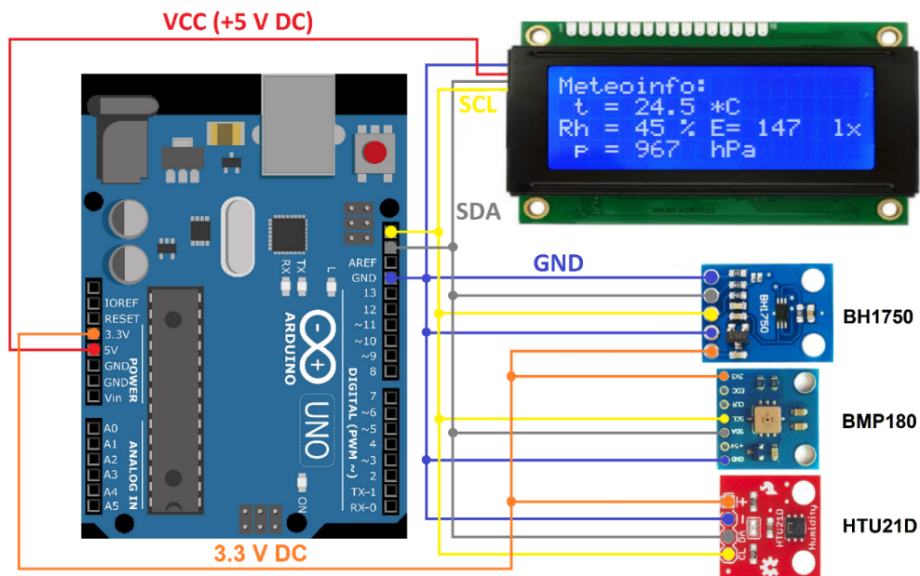
**Obr. 5.6:** Senzor HTU21D určený na meranie relatívnej vlhkosti a teploty vzduchu.

Senzor HTU21D (obr. 5.6) umožňuje merať teplotu v rozsahu od  $-40$  °C do  $+125$  °C a relatívnu vlhkosť vzduchu od 0 % do 100 %. Pokiaľ ide o presnosť merania, v prípade teploty je presnosť zvyčajne  $\pm 0,3$  °C, pričom najpresnejšie meranie dosiahneme v intervale 5 °C až 60 °C. V prípade vlhkosti je presnosť  $\pm 1$  % a najpresnejšie senzor meria v rozsahu 10 % až 90 %. Napájacie napätie pre tento modul odporúča výrobca v rozsahu 3,3 V až 5 V. Odoberaný elektrický prúd je veľmi nízky, v pokoji dosahuje maximálne 140 nA a pri meraní maximálne 0,5 mA. Ku všetkým uvedeným výhodám môžeme pripočítať aj veľkosť celého modulu, ktorá je 12 x 10 mm, ako aj montážny otvor na uchytenie senzora (Datasheet HTU21D, 2013).

Senzor vlhkosti vzduchu a teploty HTU21D využíva knižnicu *SparkFunHTU21D.h*, ktorá je voľne dostupná na internete.

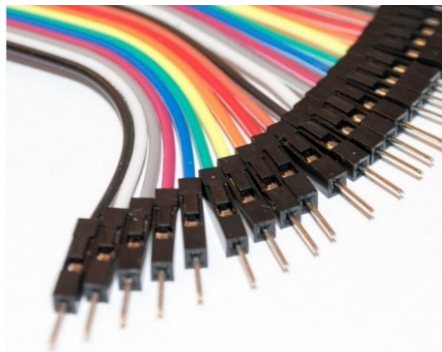
### 5.1.2. Opis zapojenia a konštrukcie meteorologickej stanice

LCD displej, ako aj všetky tri spomenuté senzory, využívajú na komunikáciu s mikrokontrolérom Arduino Uno sériové rozhranie I<sup>2</sup>C. Toto rozhranie umožňuje pripojiť zariadenie (senzor alebo LCD displej) k Arduinu iba pomocou dvoch vodičov, pričom vodič označený SCL (Serial Clock) slúži na taktovanie komunikácie a druhý vodič označený ako SDA (Serial Data) na prenos dát. Okrem toho je potrebné k zariadeniam pripojiť aj napájacie vodiče GND a 3,3 V alebo 5 V. Jedno zariadenie, ktoré ovláda komunikáciu, musí byť typu *Master* (v našom prípade je to Arduino), ostatné zariadenia sú typu *Slave*. Každé zariadenie sa pri komunikácii pomocou I<sup>2</sup>C identifikuje svojou unikátnou adresou (Voda Z. a kol., 2018). Schéma prepojenia mikrokontroléra Arduino Uno s LCD displejom a senzormi v meteorologickej stanici je znázornená na Obr. 5.7.



**Obr. 5.7:** Zapojenie jednoduchkej meteorologickej stanice.

Zapojenie zrealizujeme pomocou vodičov, pričom pre pripojenie k Arduino je najlepšie využiť vodiče s koncovkami DuPont typu M (Male), ako vidieť na obr. 5.8.



**Obr. 5.8:** Vodiče s koncovkami na pripojenie k Arduino.

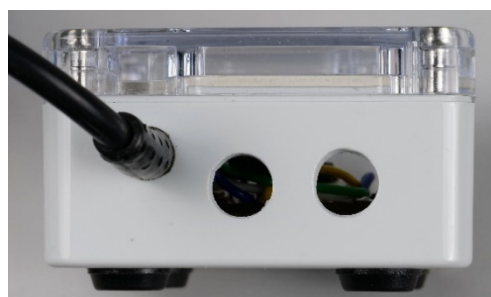
Vzhľadom k využitiu zbernice I<sup>2</sup>C a rovnakého napájania 3,3 V DC je možné senzory osadiť na vhodnú dosku plošných spojov, navzájom ich podľa schémy na obr. 5.7 poprepájať a umiestniť do vhodnej malej montážnej krabičky s priehľadným krytom (obr. 5.9a, b), ktorá môže byť umiestnená vo vonkajšom prostredí, napríklad za oknom. V našom prípade sme použili krabičku od firmy Gainta G201C. To nám umožnilo prepojiť krabičku so senzormi a väčšiu krabičku meteorologickej stanice s displejom a s Arduino pomocou štvorvodičového kábla s vodičmi SCL, SDA, GND a 3,3 V DC.

Vlastná meteorologická stanica (obr. 5.10a) bola taktiež osadená do montážnej krabičky s priehľadným krytom od firmy Gainta G258C. Obdĺžnikový otvor v kryte, v ktorom je umiestnený displej, bol vyrezaný pomocou priemyselného zariadenia na rezanie vodným lúčom, no možné je tiež použiť výkonný laser.

Pokiaľ nič z toho nemáme k dispozícii, je možné do rohu budúceho otvoru navŕtať diery a otvor postupne vyrezať napr. lupienkovou pilou a začistiť pilníkom, je to však namáhavejšie a vzniká väčší priestor na chybu.



a)

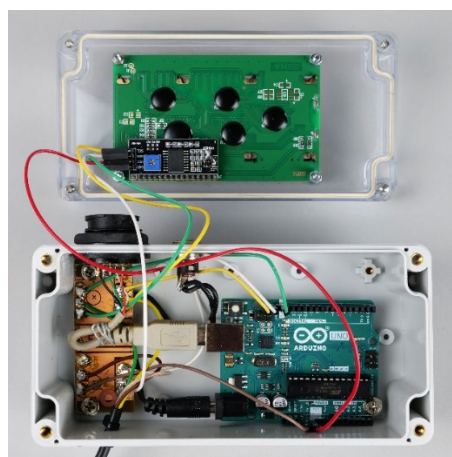


b)

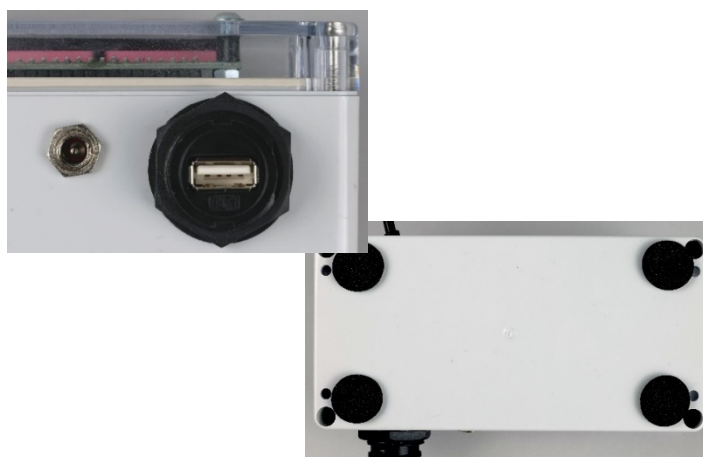
**Obr. 5.9a, b:** Osadenie senzorov na plošnom spoji a uchytenie dosky plošných spojov so senzormi v montážnej krabičke s priehľadným horným krytom (a), pohľad na vyvrtané otvory z boku krabičky (b).

Pri umiestnení krabičky so senzormi musíme dodržať niekoľko podmienok:

- Dbáme na to, aby bola umiestnená v tieni a nie na priamom slnečnom svetle. Tým zabezpečíme, že senzor HTU21D bude merať skutočnú teplotu vonkajšieho vzduchu a krabička so senzormi sa nebude prehrievať.
- Do bočných sien krabičky so senzormi je potrebné navŕtať vhodné otvory (v našom prípade sme do stien krabičky navŕtali spolu 8 otvorov s priemerom 8 mm, čiže 2 otvory do každej strany). Tým dosiahneme to, že tlak vzduchu v krabičke bude rovnaký ako v jej okolí, ako aj to, že sa v krabičke dobre obmieňa vzduch. Vďaka tomu je senzor HTU21D schopný merať taktiež relatívnu vlhkosť okolitého vzduchu. Otvory samozrejme nemôžu byť navŕtané do horného priehľadného krytu krabičky so senzormi, pretože v opačnom prípade by do nej mohlo napršať, prípadne nasnežiť.
- Samotné Arduino spolu s displejom je vhodné umiestniť do väčšej montážnej krabičky a ponechať v miestnosti pripojené na zdroj napájania, prípadne (v prípade kontinuálneho zberu údajov) k USB portu počítača alebo notebooku.
- Konektor napájania a USB konektor je výhodné umiestniť na zadnú stranu montážnej krabičky (obr. 5.10b). To nám umožňuje použiť na napájanie Arduino vhodný DC adaptér, ako aj programovať meteostanicu cez USB z počítača bez potreby otvárať montážnu krabičku.
- Obidve montážne krabičky (so senzormi, aj s displejom a Arduino) je vhodné opatriť nalepovacími protišmykovými podložkami, čo je taktiež zobrazené na obr. 5.10b.



a)



b)

**Obr. 5.10 a, b:** Pohľad do vnútra meteorologickej stanice (a), napájací a USB konektor meteorologickej stanice, pohľad na protišmykové podložky na spodnej strane (b).

## 5.2. Opis experimentálneho vybavenia

### 5.2.1. Naprogramovanie meteorologickej stanice a opis programu

V prvej časti programu (obr. 5.11) je potrebné načítať potrebné knižnice, ktoré obsahujú kód pre ovládanie a komunikáciu pripojeného hardvéru. Taktiež je potrebné pre správny chod inicializovaných knižníc konkretizovať, ktoré zariadenia sú pripojené k Arduinu.

*Pozn.: symbol dvojitého lomítka „//“ v programe znamená, že text, ktorý je za ním, bude programom ignorovaný. Preto sem môžeme napísať vysvetľujúce komentáre k jednotlivým častiam programu.*

```
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
```

**Obr. 5.11:** Úvodná časť programu meteorologickej stanice.

V nasledujúcej časti `void setup()` môžeme inicializovať pripojený hardvér (obr. 5.12). Najprv inicializujeme sériovú a I2C komunikáciu, displej, pripojené senzory, cez sériovú komunikáciu vypíšeme pozdrav a pokyn na uloženie dát do Excelu, na displeji vypíšeme výraz „Meteoinfo:“:

```
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
```

**Obr. 5.12:** Inicializácia hardvéru.

Následne na displeji a do počítača pri sériovej komunikácii vypíšeme symboly a označenia, ktoré sa meniť nebudú (obr. 5.13).



```

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 }

```

**Obr. 5.13:** Vypísanie nemenného textu na displeji a v počítači pri sériovom prenose.

V ďalšej časti programu `void loop()` sa nachádza časť kódu, ktorá sa neustále opakuje (obr. 5.14). V nej zavedieme potrebné premenné a vyžiadame si od senzorov hodnoty, ktoré následne vypíšeme na LCD displeji. Hodnotu tlaku ešte musíme prepočítať na hektopascalý:

```

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 }

```

**Obr. 5.14:** Zavedenie premenných a vypísanie nameraných hodnôt na displeji.

V poslednej časti programu (obr. 5.15) vypíšeme namerané hodnoty do počítača a na chvíľu zastavíme beh programu pomocou príkazu `delay()` tak, sa pri dlhodobom meraní hodnoty zaznamenali 1x za minútu.

To znamená, že hodnoty tlaku (hPa), teploty (°C), relatívnej vlhkosti (%) a intenzity osvetlenia (lx) sa obnovia na displeji a zaznamenajú do počítača približne každú minútu:

```
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
```

**Obr. 5.15:** Vypísanie nameraných hodnôt do počítača a prerušenie chodu programu na požadovaný čas.

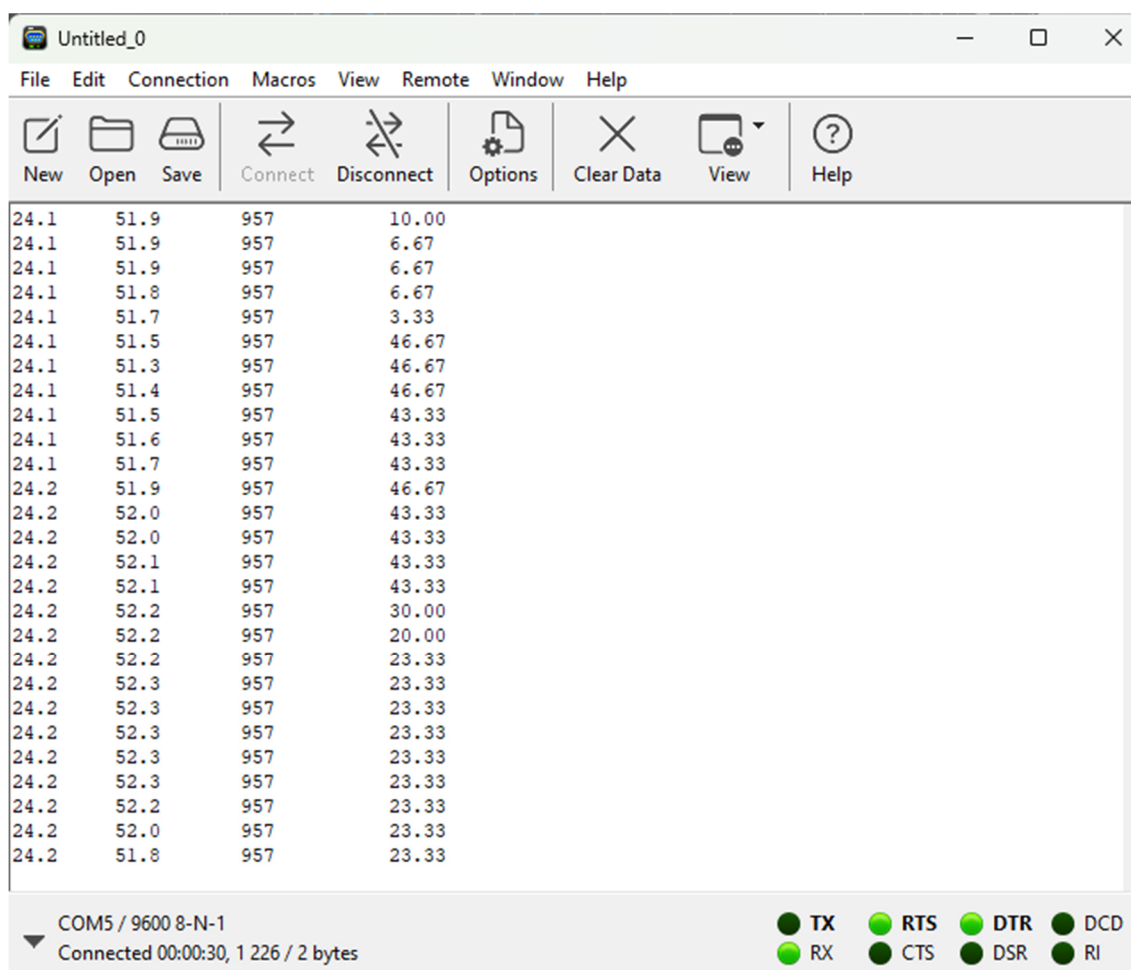
Pokiaľ potrebujeme hodnoty zaznamenávať napr. každú sekundu, stačí správne nastaviť hodnotu príkazu `delay()` v poslednom riadku programu. Napríklad `delay(1000)` znamená, že sa program pozastaví na 1000 ms, no nesmieme zabudnúť, že aj samotný chod programu zaberie nejaký čas, preto je potrebné hodnotu oneskorenia určiť pokusne.

### 5.2.2. Zber dát prostredníctvom počítača

Pre samotný zber dát pomocou počítača môžeme s výhodou využiť niektorý z voľne dostupných programov, ktorý dokáže zaznamenávať dáta posielané sériovým prenosom z Arduina cez USB konektor do textového súboru. Nám sa najlepšie osvedčila najnovšia verzia programu *CoolTerm*, dostupná na internete (CoolTerm, 2022).

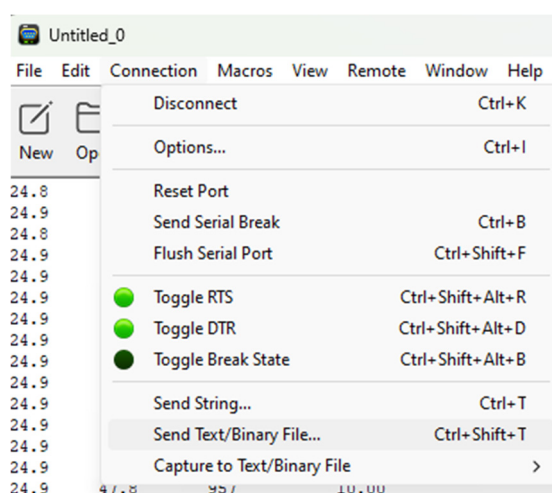
Program po stiahnutí stačí spustiť, netreba ho inštalovať. Po spustení programu vyberieme možnosť parametre na komunikáciu nastaviť automaticky. Následne už len stačí inicializovať

pomocou tlačidla  na hornej lište programu sériový prenos (obr. 5.16).



**Obr. 5.16:** Ukážka prostredia programu CoolTerm a pohľad na zaznamenávané hodnoty.

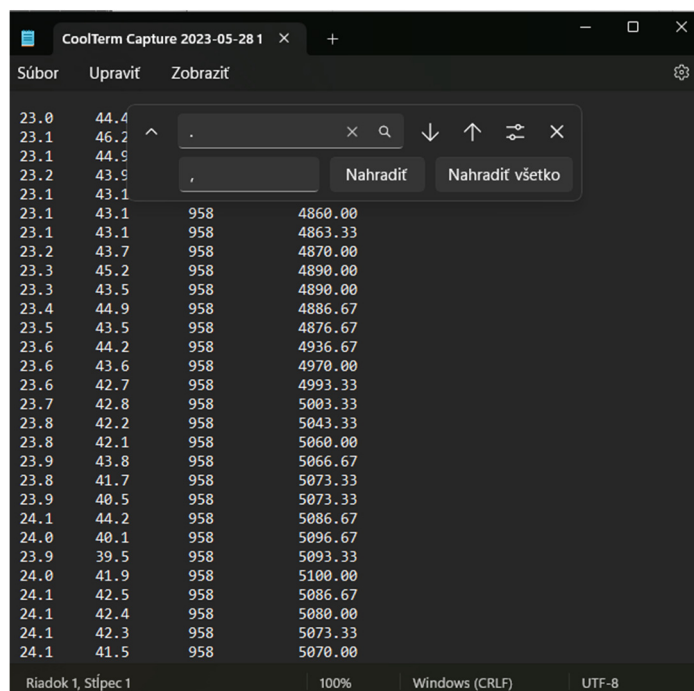
Pokiaľ chceme dáta uložiť do textového súboru, musíme na hornej lište programu zvoliť príkaz *Connection/Send Text/Binary File...* a potvrdiť ukladanie do textového súboru s konkrétnym názvom v danom priečinku (obr. 5.17).



**Obr. 5.17:** Nastavenie ukladania dát do textového súboru.

Pri prenose dát do Excelu je niekedy potrebné prihliadnuť na symbol oddeľovača celých a desatinných čísel – v niektorých krajinách sa používa desatinná čiarka, v iných bodka.

Aby pri prenose dát do Excelu nevznikli zbytočné problémy, najjednoduchšie je priamo v textovom súbore zameniť symbol oddelovača celých a desatinných čísiel pomocou príkazu *Ctrl+H* (obr. 5.18). Po nahradení všetkých znakov oddelovača už môžeme pomocou príkazu *Ctrl+C* vyznačiť všetky dáta v textovom súbore a pomocou príkazu *Ctrl+V* ich vložiť do Excelu bunky s dátami upraviť do formátu *Číslo* s daným počtom desatinných miest (zvyčajne stačí na jedno miesto) a zostrojiť požadované grafy.



**Obr. 5.18:** Ukážka nahradenia symbolu oddelovača desatinných čísiel v slovenskej lokalizácii textového editora s nameranými dátami.

V nasledujúcej časti prinášame návrh aktivity s názvom *Meteorologické pozorovanie*. Aktivita je spracovaná formou študentského pracovného listu.

## 5.3. Úlohy

### 5.3.1. Meteorologické pozorovanie

**Úvod:** Vedieť správne predpovedať počasie, resp. stav atmosféry nad určitým miestom zemského povrchu je dôležité nielen pre bežnú verejnosť, ale aj pre také oblasti ľudskej činnosti, ako je letecká a námorná doprava, poľnohospodárstvo, rôzne priemyselné odvetvia a pod. Ak chceme predpovedať počasie, najprv potrebujeme zmerať meteorologické prvky, teda kvantitatívne charakteristiky atmosféry. Medzi ne radíme napríklad teplotu a vlhkosť vzduchu, dĺžku trvania snežného svitu, smer a rýchlosť vetra, množstvo zrážok a i. Ako sa vlastne mení teplota počas dňa a noci? Ako poznáme, kedy je deň a kedy noc? Podľa si vyskúšať, ako sa dajú zaznamenať niektoré veličiny charakterizujúce počasie.



**Cieľ merania:** S využitím jednoduchkej meteorologickej stanice zmerať vybrané charakteristiky počasia v priebehu niekoľkých dní. Získané údaje spracovať napríklad v prostredí MS Excel a zistiť zmeny počasia v meranom období.

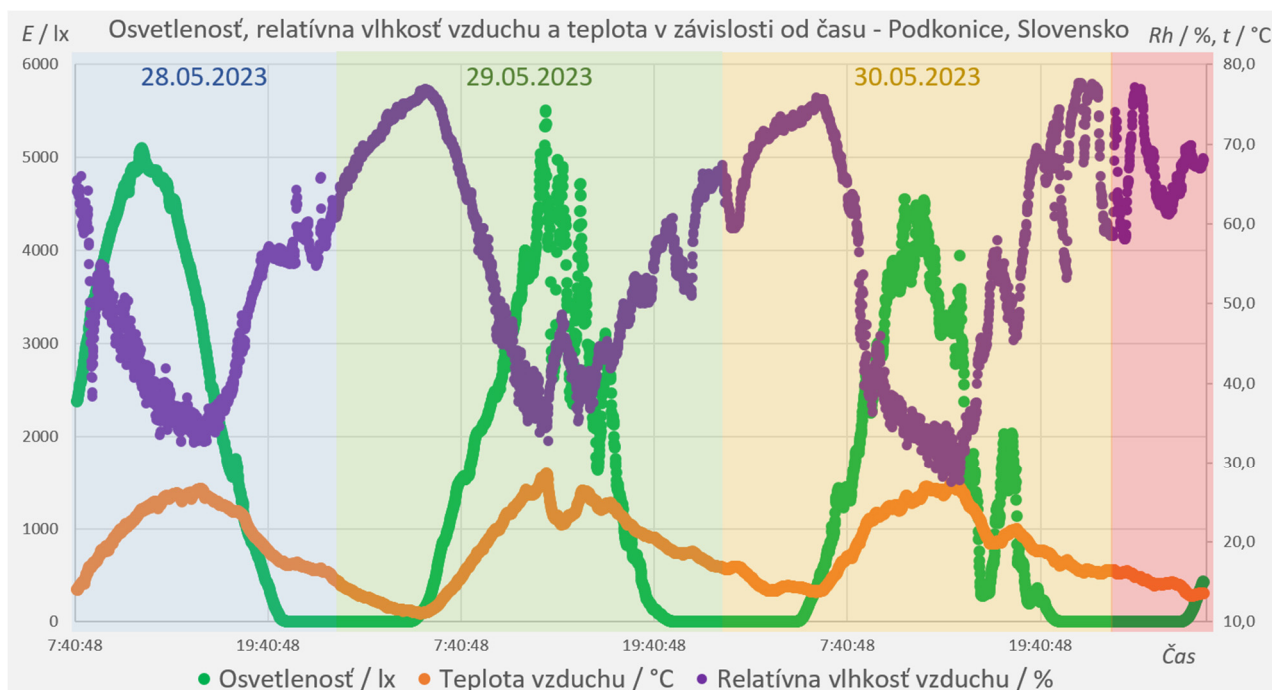
### 5.3.1.A. Postup merania

- Experimentálnu zostavu tvorí meteorologická stanica so senzormi a počítač na dlhodobé zaznamenávanie nameraných údajov.
- Krabičku so senzormi meteorologickej stanice umiestnite napr. na okenný parapet tak, aby nebola na priamom slnečnom svetle.
- Meteorologickú stanicu pripojte pomocou USB kábla k počítaču a spustíte softvér na zaznamenávanie dát CoolTerm.
- Program nastavte tak, aby začal dáta ukladať do textového súboru. Nezabudnite si zaznamenať začiatok merania – meteorologická stanica meria údaje každú minútu, takže podľa začiatku merania môžete ľahko určiť, v ktorom časovom okamihu bola daná štvorica údajov (teplota vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, atmosférický tlak a osvetlenie, resp. intenzita osvetlenia) zaznamenaná.
- Nechajte meranie prebiehať niekoľko dní, prípadne aspoň 24 hodín (nezabudnite nastaviť počítač tak, aby sa nevypol, prípadne neprepol do úsporného režimu).

### 5.3.1.B. Analýza merania

Po 24 hodinách, resp. po niekoľkých dňoch, meranie ukončíte a zaznamenané dáta z textového súboru skopírujete do Excelu.

Zostrojíte graf z nameraných hodnôt, prípadne viacero grafov v závislosti od toho, či chcete časové závislosti meraných veličín zobrazovať formou samostatných grafov alebo nie. Príklad, ako môže taký graf vyzeráť, je uvedený nižšie. Graf zobrazuje hodnoty osvetlenia, relatívnej vlhkosti vzduchu a teploty vzduchu namerané v priebehu viacerých dní. Jednotlivé dni sú farebne zvýraznené, aby sa v grafe dalo ľahšie orientovať. Hodnoty môžeme približne určovať priamo z grafu, úplnejšiu informáciu však získame z tabuľky nameraných údajov.



Na základe (vlastných) nameraných údajov sa pokúste odpovedať na nasledujúce otázky pre jednotlivé dni pozorovania.

Dátum: \_\_\_\_\_

- Maximálna nameraná teplota vzduchu bola \_\_\_°C v čase \_\_\_ hod \_\_\_ min.
- Minimálna nameraná teplota vzduchu bola \_\_\_°C v čase \_\_\_ hod \_\_\_ min.
- Denná amplitúda teploty počas pozorovania mala hodnotu \_\_\_\_\_°C.
- Maximálna relatívna vlhkosť vzduchu dosiahla \_\_\_% v čase \_\_\_ hod \_\_\_ min.
- Minimálna relatívna vlhkosť vzduchu dosiahla \_\_\_% v čase \_\_\_ hod \_\_\_ min.
- Noc ( $E = 0$  lx) nastala o \_\_\_ hod \_\_\_ min, úsvit ( $E > 0$  lx) nastal o \_\_\_ hod \_\_\_ min.
- Noc trvala \_\_\_ hod \_\_\_ min.
- Tlak vzduchu mal stúpajúcu/klesajúcu tendenciu, bol stabilný (nehodiace sa prečiarkni).

## Literatúra

1. CoolTerm 2.0.1.1150 (2022). [online] [cit. 2023-06-26]  
<<https://coolterm.en.lo4d.com/windows>.>
2. Datasheet BH1750 (2011). [online] [cit. 2023-06-26]  
<<https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750vi-e-186247.pdf>>.
3. Datasheet BMP180 (2013). [online] [cit. 2023-06-26]  
<<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>>
4. Datasheet HTU21D (2013). [online] [cit. 2023-06-26]  
<<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1899-HTU21D.pdf>.>
5. Siepert, B. (2022). Adafruit BH1750 Ambient Light Sensor. Available at:  
<<https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-bh1750-ambient-light-sensor.pdf>>.
6. 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)>

## 6. KAPITOLA. SENZOR NA MERANIE KVALITY OVZDUŠIA A SPÔSOB JEHO VÝROBY

*Autorom kapitoly je Radu Motisan from Magnasci SRL (6.1, 6.1.1.), Rumusko*

### 6.1 Trochu teórie na úvod

Jednoduchý senzor na meranie kvality ovzdušia (ďalej len PM senzor) *Smoggie* je nízkonákladový automatický monitor kvality ovzdušia s krytom odolným voči dažďu a jednoduchým montážnym systémom, ktorý uľahčuje inštaláciu. Má vysokokvalitný laserový rozptylový snímač pre častice PM1, PM2,5 a PM10 a dodatočný snímač teploty a vlhkosti. K internetu sa pripája prostredníctvom siete Wi-Fi a možno ho napájať štandardným 5V micro-USB káblom.

Merania sa automaticky prenášajú na dátový server uRADMonitor, odkiaľ k nim možno prístupovať prostredníctvom existujúceho rozhrania API alebo sú dostupné a decentralizované priamo prostredníctvom miestnej siete. Tento monitor je laboratórne testovaný na presnosť údajov.

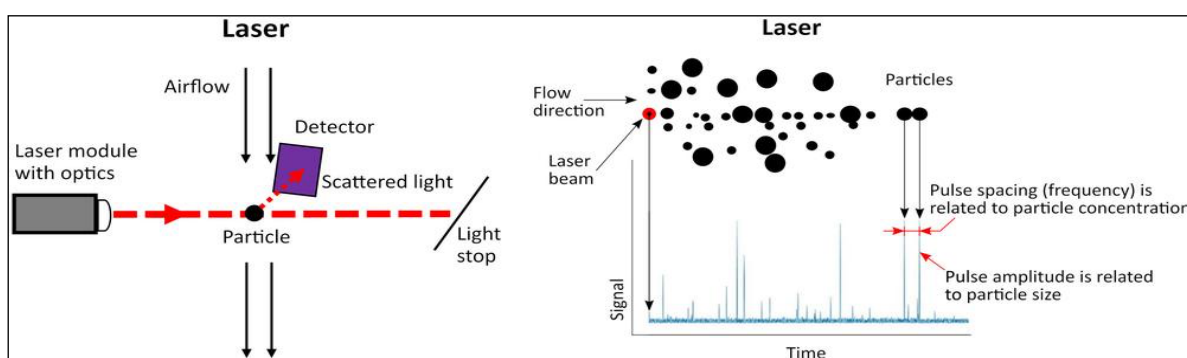
PM senzor je nízkonákladovým zariadením, kde všetky jeho konštrukčné prvky boli optimalizované s ohľadom na ich cenu, avšak bez straty kvality výsledného produktu. Konštrukcia je „open source“, pričom kompletné údaje o hardvéri a softvéri sú verejne dostupné na serveri Githubu. Program PM senzora je možné upravovať pomocou rozhrania Arduino IDE. Všetky merania sa automaticky odosielajú na server uRADMonitor a sú prístupné prostredníctvom API alebo sa zobrazujú online.

#### 6.1.1. Obsah súpravy PM senzora a úloha každého komponentu

PM senzor *Smoggie* obsahuje vysoko presný laserový rozptylový senzor, ako aj senzor teploty a relatívnej vlhkosti typu MEMS (MEMS – mikroelektromechanický systém). Vstavaný ventilátor zabezpečuje aktívny prúd vzduchu cez detekčné prvky. Zariadenie sa pripája k najbližšiemu bezdrôtovému internetovému smerovaču cez Wi-Fi a posiela merania online [1].

Senzor *Smoggie* meria tri meteorologické parametre: teplotu vzduchu (rozlíšenie 0,5 °C a presnosť  $\pm 1$  °C), barometrický tlak (presnosť  $\pm 0,25$  %) a relatívnu vlhkosť (rozlíšenie 1 % a presnosť  $\pm 2$  %) pomocou MEMS senzora Sensirion SHT21. Na meranie koncentrácií PM1, PM2,5 a PM10 v ovzduší sa používa aj integrovaný detektor laserového rozptylu Plantower PMS5003.

Impulz koherentného infračerveného svetla prechádza cez dutinu so stranovo umiestnenou PIN fotodiódou, ktorá slúži na detekciu koncentrácie PM častíc. Ventilátor vháňa vzduch do komory. Keď sa častica dostane do lúča lasera, rozptyluje laserové svetlo, ktoré zachytáva fotodióda – detektor (obr. 6.1). Amplitúda zaznamenaného rozptýleného signálu je priamo úmerná veľkosti častice. Tento fakt pomáha korelovať počet udalostí s hmotnostnou koncentráciou [2].



Obr. 6.1: Schéma optického senzora pevných častíc [2].

Tab. 6.1: Parametre senzorov Sensirion SHT21 a Plantower PMS5003.

Senzory	Parameter	Minimum	Maximum	Presnosť merania
Sensirion SHT21	Teplota	-40 °C	+125 °C	± 0.3 °C
	Vlhkosť	0 % RH	100 % RH	± 2 %
Plantower PMS5003	PM1.0, PM2.5, PM10	0 µg / m <sup>3</sup>	1000 µg / m <sup>3</sup>	± 5 %

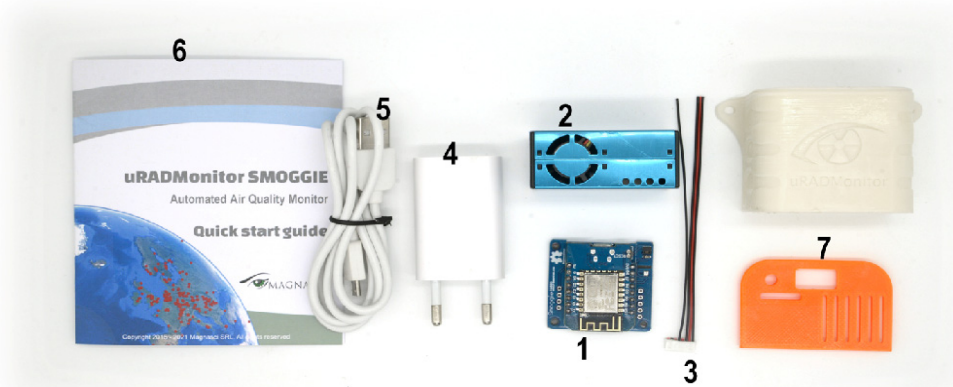
Vo verzii KIT sa PM senzor *Smoggie* dodáva v demontovanom stave. Cieľom je, aby ho študenti využili ako učebný materiál pri laboratórnych činnostiach, v rámci ktorých sa oboznámia s konštrukciou a fungovaním moderných digitálnych technológií na ovládanie senzorov. Pri montáži PM senzora *Smoggie* sa študent tiež oboznamuje so špecifickými montážnymi nástrojmi a technikami, ako sú spájkovacie stanice, spájkovanie, 3D tlač, programovanie a testovanie.

Všetky senzory sú pripojené do siete určenej na nepretržitý dohľad nad životným prostredím (uRADMonitor), ktorá poskytuje plne transparentné otvorené údaje používané na monitorovanie kvality ovzdušia. Údaje sú prístupné v reálnom čase prostredníctvom rozhrania API. Údaje o životnom prostredí, zaznamenané takýmito senzormi, pokrývajú rozsiahlu oblasť zemského povrchu a sú zverejňované v reálnom čase s rozlíšením jednej minúty.

### Hlavné komponenty súpravy PM senzora

Každá súprava PM senzora obsahuje niekoľko komponentov umiestnených v balení, a to sú:

1. základná doska s elektronikou a obojstrannou páskou,
2. senzor častíc typu Plantower PMS5003,
3. káblový konektor senzora častíc,
4. adaptér 230 V / 5 V DC na napájanie zariadenia,
5. micro-USB kábel na programovanie a napájanie,
6. návod na použitie,
7. plastový kryt.



Obr. 6.2: Komponenty súpravy PM senzora „Smoggie.“

### Čas potrebný na konštrukciu PM senzora

Priemerný čas montáže je približne 30 minút vrátane pocínovania vodičov, upevnenia snímača na základnú dosku a jeho vloženia do plastového puzdra. Tlač puzdra trvá približne 1 hodinu a 30 minút, ale líši sa v závislosti od použitej tlačovej technológie (FDM alebo SLA). Programovanie zariadenia pomocou Arduina trvá niekoľko minút a je možné ho riešiť v rôznych operačných systémoch (Windows, Linux, Mac OS).

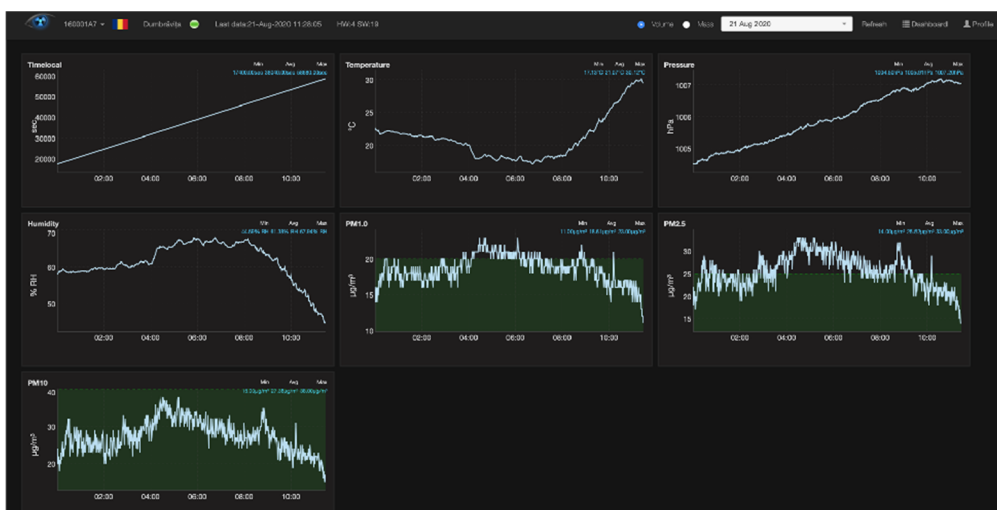


## Odosielenie údajov

Údaje sa zbierajú automaticky v časovom intervale jednej minúty. Interval je možné na-konfigurovať vo firmvéri alebo prostredníctvom príkazov terminálu USB tak, aby zodpovedal účelu použitia (napr. mobilné jednotky potrebujú rýchlejšie vzorkovanie, zatiaľ čo vzdialené jednotky pracujúce s nižším výkonom alebo obmedzenou šírkou pásma (alebo oboje) potrebujú zníženú frekvenciu vzorkovania). Snímače sa pripájajú k internetu prostredníctvom niekoľkých spôsobov pripojenia – v závislosti od typu zariadenia ide buď o káblové spojenia cez Ethernet alebo rádiové spojenia vrátane GSM, WIFI, LORAWAN, HELIUM alebo Bluetooth Low Energy. K zaznamenaným údajom možno prístupovať na diaľku prostredníctvom rozhrania API uRADMonitor alebo decentralizovane v lokálnych sieťach používateľov.

## Prístup k údajom

PM sensor Smoggie stačí pripojiť k zdroju napätia a WIFI sieti a údaje budú okamžite k dispozícii, ako je vidieť na obr. 6.3.



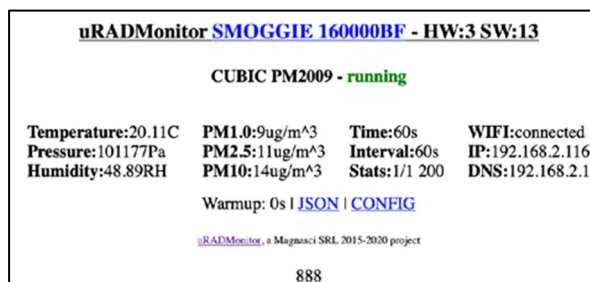
Obr. 6.3: Získavanie údajov v reálnom čase.

K údajom možno prístupovať priamo cez zobrazenie v softvérových aplikáciách tretích strán, na integráciu s inými systémami (Home Assistant, Alexa atď.) alebo na zobrazenie na informačných paneloch.

K údajom možno prístupovať dvoma spôsobmi:

- **Lokálny prístup**

Lokálny prístup je možné použiť, ak je senzor súčasťou lokálnej siete LAN. Jednotka predstavuje internú webovú stránku prístupnú cez port 80, ktorú možno otvoriť v štandardnom internetovom prehliadači. Ak chceme získať prístup k obsahu na počítači alebo telefóne, je potrebné otvoriť IP adresu jednotky v sieti LAN. Zobrazená webová stránka je vyzerá nasledovne (obr. 6.4):



Obr. 6.4: Ukážka webovej stránky.

Uvedená webová stránka zobrazuje namerané údaje a ďalšie technické informácie. Link JSON v spodnej časti webovej stránky slúži na prístup k zdrojom údajov vo formáte JSON (jednoduchý dátový formát, ktorý je používaný na prenos a ukladanie údajov a je nezávislý na programovacím jazyku). Keďže je senzor pripojený priamo do siete, nie je možné použiť spracovanie získaných údajov na serveri (offset processing), takže k dispozícii sú iba surové údaje. Z tohto dôvodu nie je tento spôsob prístupu preferovaný a musí sa použiť dodatočná kompenzácia (napr. teplotná kompenzácia na korekciu vnútorného ohrevu, iné korekcie atď.). Táto funkcia sa využíva najmä na ladenie a decentralizovanú prevádzku v kritických situáciách, ako je porucha alebo výpadok servera. Podrobnejšie informácie o priamom prístupe k údajom nájdete na stránke <https://www.uradmonitor.com/direct-data-access/>.

- **Prístup k údajom prostredníctvom rozhrania REST API servera**

Ide o uprednostňovaný spôsob prístupu k údajom. Rozhranie API nevyžaduje od klienta žiadne informácie o svojej štruktúre. Namiesto toho musí server poskytnúť klientovi informácie na interakciu so službou. Príkladom je formulár HTML: Server určuje umiestnenie zdroja a požadované polia. Prehliadač vopred nevie, kam má poslať informácie, a vopred nevie, aké informácie je potrebné poslať. Server plne poskytuje obe formy informácií.

Rozhranie API sa používa pre obidva smery prenosu údajov, prenos údajov = upload (odosielanie) a sťahovanie = download (sťahovanie). Keď hovoríme o prístupe k údajom, máme na mysli sťahovanie. Sensory používajú API na odosielanie meraní na server pre ďalšie spracovanie a uloženie do databázy. Rozhranie API sa potom používa na prístup k údajom zo základného rozhrania, mobilnej aplikácie alebo systémov tretích strán, ktoré potrebujú súbor údajov. Viac informácií o rozhraní API nájdete na týchto odkazoch: <https://www.uradmonitor.com/api>, <https://www.uradmonitor.com/dashboard/>.

## Literatúra

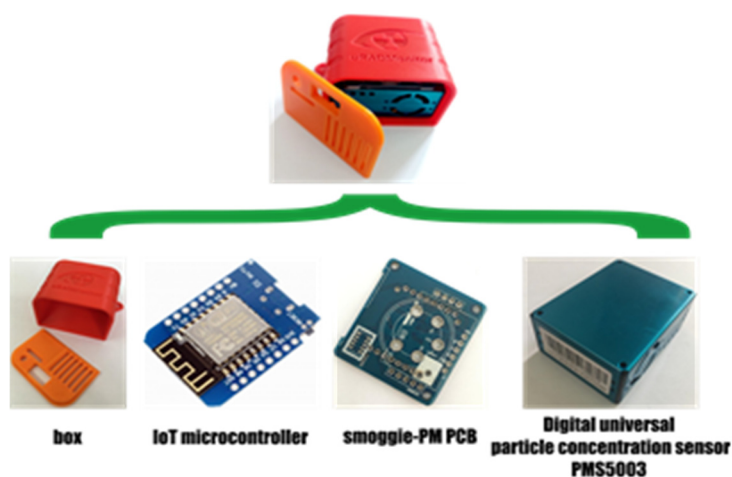
1. Udristioiu, M. T., Velea, L., & Motisan, R. (2023). First results given by the independent air pollution monitoring network from Craiova City, Romania. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2843, No. 1). AIP Publishing.
2. Velea, L., Udristioiu, M. T., Puiu, S., Motișan, R., & Amarie, D. (2023). A Community-Based 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. Ako vyrobiť PM sensor Smoggie pomocou súpravy?

PM sensor Smoggie pozostáva za štyroch hlavných častí:

- krabička vyrobená na 3D tlačiarňami,
- ESP8266 WeMos D1 Mini – mikrokontrolér,
- Smoggie-PM PCB,
- Plantower PMS5003 – senzor na meranie pevných častí (PM) (1  $\mu\text{m}$  (PM1), 2,5  $\mu\text{m}$  (PM2,5) a 10  $\mu\text{m}$  (PM10)).

PM senzor sa používa pre zmes pevných častíc a kvapôčok kvapaliny vo vzduchu. Snímač častíc PMS5003 (obr. 6.5) je laserový rozptylový snímač, ktorý poskytuje digitálne výstupy koncentrácie PM na základe Mieho teórie.



Obr. 6.5: Hlavné časti PM senzora.

#### Čo je to mikrokontrolér

Mikrokontrolér je zariadenie s integrovaným obvodom, ktoré riadi ďalšie časti elektronického systému, zvyčajne prostredníctvom mikroprocesorovej jednotky, pamäte a niektorých periférnych zariadení. Najčastejšie sa táto kategória integrovaných obvodov označuje ako mikrokontrolér so skratkou MCU (= jednotka mikrokontroléra) alebo príležitostne  $\mu\text{C}$  ( $\mu$  = mikro). Názov „mikrokontrolér“ je vhodne zvolený, pretože zdôrazňuje charakteristické vlastnosti tejto kategórie produktov. Predpona „mikro“ znamená malý, zatiaľ čo pojem „kontrolér“ vyjadruje schopnosť zariadenia vykonávať riadiace funkcie.

Mikrokontroléry sú optimalizované pre vstavané aplikácie, ktoré si vyžadujú spracovateľské funkcie a svižnú a rýchlu interakciu s digitálnymi, analógovými alebo elektromechanickými komponentmi. Mikrokontroléry zohrali zásadnú úlohu v technologickú revolúciu 4.0, ktorá formovala moderný život. Sú to malé, univerzálne a lacné zariadenia, ktoré môžu úspešne implementovať a programovať skúsení elektrotechnici a nadšenci pre elektrotechniku, študenti ako aj odborníci z iných odborov.

Za zmienku stojí skutočnosť, že mikrokontrolér  $\neq$  počítač, pretože:

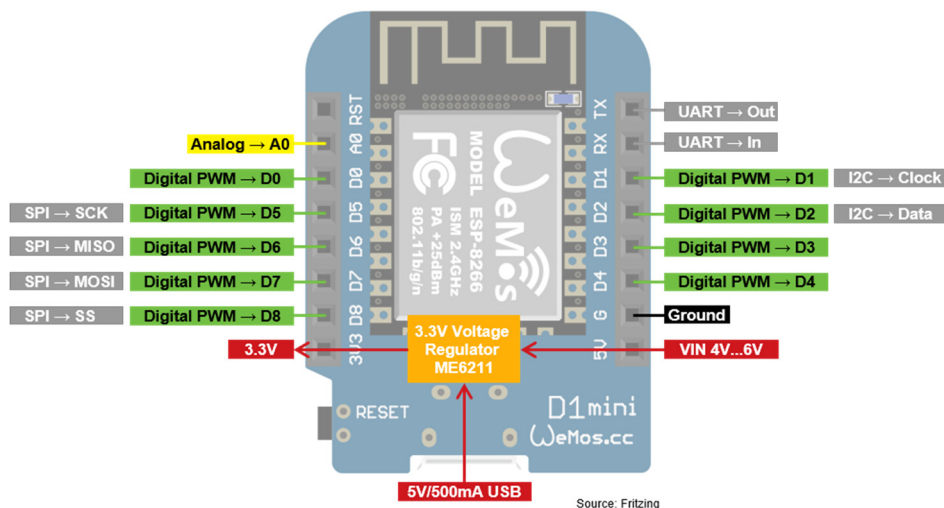
- mikrokontrolér vykonáva jednu úlohu v čase,
- počítač vykonáva milióny inštrukcií naraz.

## Bližšie informácie o ESP8266 WeMos D1 Mini

WeMos D1 Mini je systém založený na mikrokontroléri ESP8266, ktorý navrhla a vyrába spoločnosť Espressif Systems v Šanghaji v Číne. Na základe zabudovaného zavádzača je možné ľahko nahradiť na základnú dosku zdrojový kód programu. Pozoruhodné vlastnosti zariadenia ESP8266 WeMos D1 Mini, ktoré tu stoja za zmienku, sú:

- jednoduché použitie pre projekty internetu vecí s pripojením micro-USB a zabudovanou WiFi (IEEE 802.11 b/g/n),
- nízka spotreba energie v režime hlbokého spánku (0,17 mA), a preto je veľmi vhodné pre projekty napájané z batérie,
- rýchly výpočtový výkon až 160 MHz v porovnaní so 16 MHz v prípade ATmega328p (Arduino).

Viac informácií o zariadení ESP8266 WeMos D1 Mini nájdete na webovej stránke výrobcu: <https://www.wemos.cc/en/latest/index.html>. Popis funkcií ESP8266 WeMos D1 Mini spolu so schémou zobrazujúcou usporiadanie pinov na integrovanom obvode a ich funkcie je k dispozícii na adrese URL <https://diyio.com/esp8266-wemos-d1-mini-tutorial/>



Obr. 6.6: ESP8266 WeMos D1 Mini.

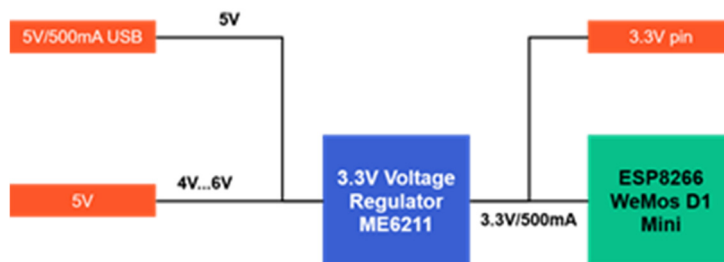
## 6.2. Opis experimentálneho vybavenia

### 6.2.A. Ako napájať the ESP8266 WeMos D1 Mini

Napájanie je vhodné realizovať pomocou Micro USB konektora, keďže ide o najobľúbenejší a najjednoduchší spôsob napájania mikrokontroléra. Štandardné pripojenie USB dodáva 5 V DC a umožňuje odoberať prúd do 500 mA.

**5V Pin.** Ak sa používa externé napájanie, napríklad batéria alebo laboratórny zdroj, môžeme použiť pin VIN. Napätie musí byť medzi 4,3 V a 6 V. Preto je možné WeMos D1 Mini napájať pomocou LiPo batérie s konektorom JST v kombinácii s batériovým modulom pre 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 Pin** (neodporúča sa). Doska má zabudovaný regulátor napätia ME6211 (obr. 6.7), ktorý poskytuje stabilné napätie 3,3 V pre WeMos D1 Mini a príslušné piny. Regulátor napätia je pripojený k 5 V pinu a USB portu. Keďže 3,3 V pin je po regulátore napätia pripojený priamo k ESP8266, doska môže byť napájaná aj prostredníctvom stabilného 3,3 V napätia na 3,3 V pine.



**Obr. 6.7:** Zapojenie regulátora napätia.

## 6.2.B. Ako nahráť zdrojový kód programu na ESP8266 WeMos D1 Mini

Na nahranie zdrojového kódu programu na ESP8266 WeMos D1 Mini môžeme použiť rozhranie Arduino IDE (obr. 6.8).

```

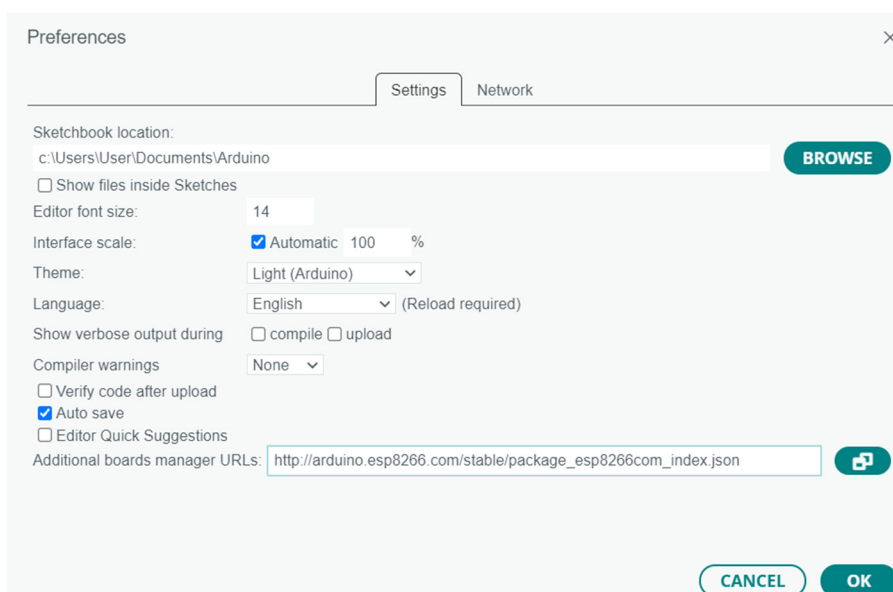
sketch_may15a.ino
1 void setup() {
2   // put your setup code here, to run once:
3
4 }
5
6 void loop() {
7   // put your main code here, to run repeatedly:
8
9 }
10

```

**Obr. 6.8:** Ukážka programu Arduino IDE.

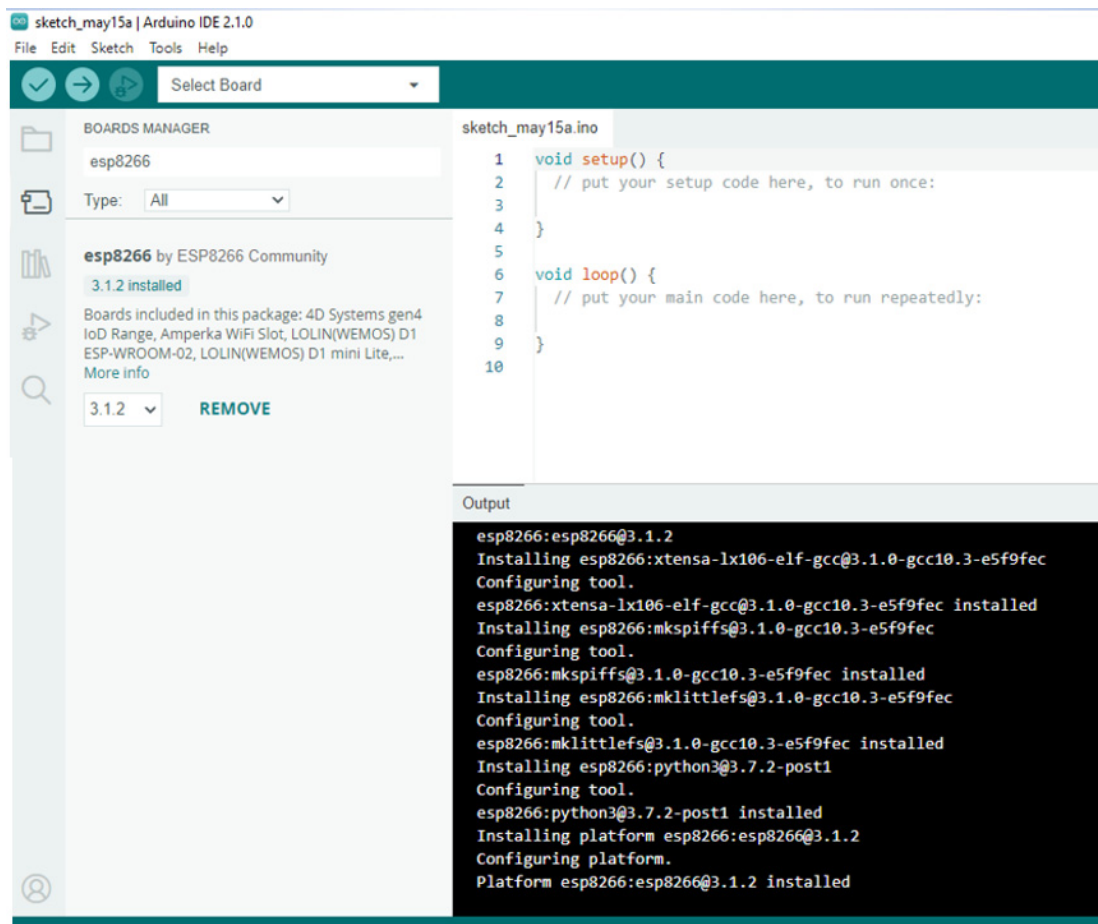
Na tento účel sa vykonajú tieto kroky:

- V menu Arduino IDE klikneme na File → Preferences a do poľa Additional Boards Manager URLs vložte nasledujúcu adresu URL:  
[http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json)



**Obr. 6.9:** Ukážka (File → Preferences) vloženia URL adresy do textového poľa pre Additional Boards Manager URLs v spodnej časti okna.

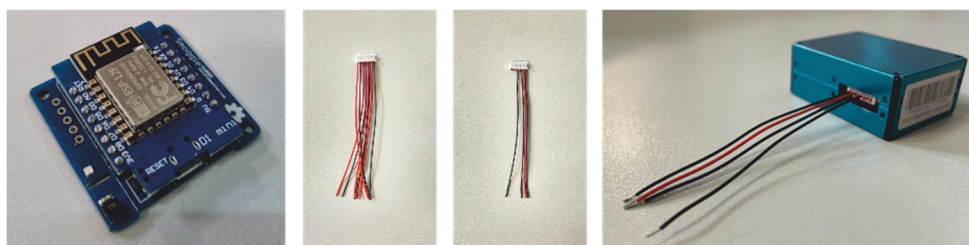
- Nainštalujeme potrebné balíky na ľavej strane Arduino IDE, klikneme na *Správca do-  
siiek*, vyhľadáme esp8266 (obr. 6.10) a nainštalujeme najnovšiu verziu dosky.



**Obr. 6.10:** Ukážka esp8266 podľa ESP8266 Community.

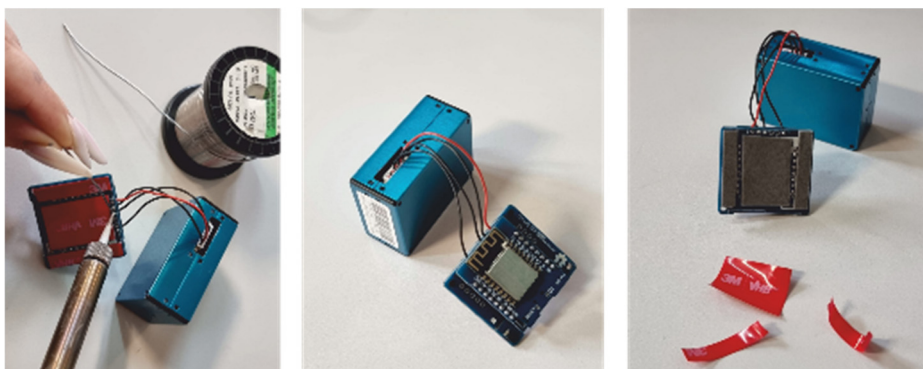
### 6.3. Úlohy

Na zostavenie senzora potrebujeme spájkovaciu stanicu, rezačku drôtov, kábel s konek-  
torom PicoBlade a obojstrannú lepiacu pásku (obr. 6.11). Doska WeMos sa zvyčajne pripája  
na hornú stranu dosky plošných spojov Smoggie-PM. Vodiče s konektorom PicoBlade sa skrá-  
tia na dĺžku niekoľkých cm. Konce sa odizolujú, aby sa pripravili na pocínovanie.



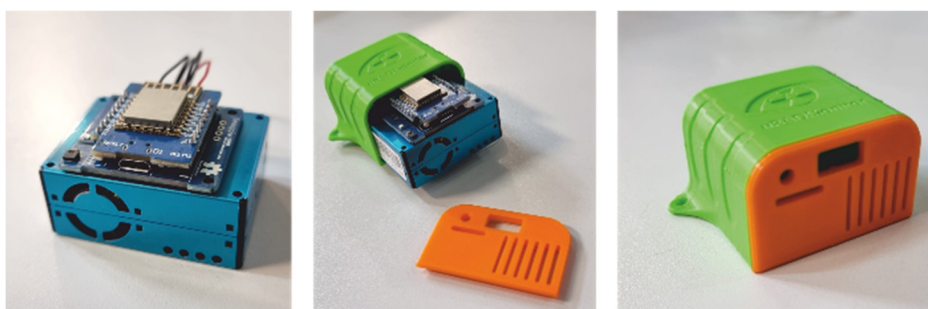
**Obr. 6.11:** WeMos na základnej doske Smoggie-PM.

Odizolované konce konektorových vodičov sa zasunú do otvorov základnej dosky, ako je  
to znázornené na obr. 6.12. Potom sa pomocou spájkovacej stanice pocínujú a zafixujú. Spáj-  
kované spoje musia byť ploché, pričom ich výška nesmie presiahnuť hrúbku obojstrannej pásky.



**Obr. 6.12:** Spájkovanie vodičov.

Pomocou obojstrannej lepiacej pásky prilepíme zostavu pozostávajúcu z dosky WeMos a Smoggie-PM PCB na puzdro snímača Plantower PMS5003, pričom postupujeme nasledovne: najprv zarovnáme základňu zostavy pozostávajúcej z dosky WeMos a Smoggie-PM plošného spoja na povrchu snímača, pričom dbáme na to, aby okraj s napájacím konektorom bol priamo na okraji snímača, ako je vidieť na obr. 6.13. Zadné vodiče musia ležať rovnobežne bez toho, aby presahovali plochu snímača. Zostavu vložíme do puzdra a zavrieme kryt.



**Obr. 6.13:** Senzor umiestnený do puzdra.

Elektronická časť je pripravená – na dosku môžeme nahradiť zdrojový kód a nainštalovať senzor.

## Literatúra

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 trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen [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>

## 7. KAPITOLA. 3D TLAČ. ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O PRÍPRAVE MODELU PRE 3D TLAČ

*Túto kapitolu napísal Iulian Petrisor z Univerzity v Craiove, Rumunsko*

### 7.1. Trochu teórie na úvod

Technologický pokrok nám umožnil tlačiť 3D modely jednoducho, rýchlo a, čo je dôležité, ekonomicky. Z historického hľadiska došlo k mnohým technologickým prelomom, takže v posledných 10 až 15 rokoch sme svedkami masívneho globálneho rozšírenia možností tlače 3D modelov. Objavil sa nový softvér, kníhkupectvá, špecializované webové stránky a mnoho bezplatných, dokonca aj vedeckých časopisov (magazínov) súvisiacich s týmito novými technológiami. Prvé knihy venované tejto oblasti začali vychádzať po roku 2010 (napríklad [1–3]) alebo niektoré novšie [4–11].

Pri 3D tlači sa používa mnoho druhov materiálov, od plastov, rôznych živíc, kovov alebo kovových práškov až po keramické či kompozitné materiály (napríklad v stavebníctve) a najnovšie aj potraviny.

Relatívne bežné typy materiálov, používaných v štandardných 3D tlačiarňach, sú:

- **Plastové materiály:**

- PLA (kyselina polylaktónová),
- ABS (akrylonitrilbutadiénstyrén),
- Nylon (alifatický polyamid),
- PET (polyetyléntereftalát).

- **Epoxidové živice.**

- **Kovové materiály:**

- kovové prášky (zmiešané s inými materiálmi, ktoré sa neskôr odstránia),
- oceľ, nikel, bronz, meď atď., ktoré možno použiť priamo.

Zdôrazňujeme tiež, že v závislosti od materiálu alebo technológie v procese tlače je nevyhnutné zvážiť niektoré účinky na zdravie ľudí v priestoroch, kde 3D tlačiareň pracuje. Niektoré tlačiarne majú uzavretý, tepelne kontrolovaný kryt, ako aj možnosť odvetrávania niektorých plynov uvoľnených v dôsledku technologického procesu (napríklad v prípade použitia ABS sa uvoľňujú plyny, ktoré je potrebné odvetrávať), alebo ak sa 3D vytlačný výrobok bude používať v potravinárskom priemysle, pretože niektoré materiály nie sú preň vhodné. Preto uvažujeme o tlačiarni určenej vyslovene pre potravinársky priemysel (splňajúcej ďalšie normy) na tlač napríklad čokoládových výrobkov alebo o tlačiarni PET na tlač modelov, ktoré môžu uchovávať potraviny, atď. Je teda nevyhnutné vedieť aj to, kde alebo ako sa bude konečný (3D vytlačný) výrobok používať.

V najbežnejších 3D tlačiarniach sa využíva technológia založená na tavení a následnom spájaní plastových materiálov. V podstate sa pomocou tepla roztaví materiál v tlačovej hlave s dýzou (ktorej priemer určuje rozlíšenie konečného výrobku) a vytlačaním tekutého plastu sa pomocou postupného ukladania vrstvy po vrstve získa navrhnutý 3D model.

### 7.2. Opis experimentálneho vybavenia

Pri 3D tlači môžeme použiť viacero softvérov:

- Blender
- Tinkercad
- FreeCAD



- DesignSpark Mechanical
- Autodesk Fusion 360
- SolidWorks
- Mathematica, atď.

Každá 3D tlačiareň spravidla obsahuje softvér, pomocou ktorého je možné na jednej strane vyvíjať a navrhovať 3D modely a na druhej strane tlačiť modely vytvorené pomocou iného softvéru, ktoré boli exportované vo vhodnom formáte, t. j. tak, aby im tlačiareň „rozumela“. Zvyčajne (začínajúci študenti a všetci, ktorí sa chcú učiť) sa začína s bezplatným softvérom, často online. Ten poskytuje začiatočníkom celý rad príkladov a malých tutoriálov, aby pochopili, ako navrhnúť a vytlačiť jednoduchý 3D model.

Začať sa dá s programom *Blender* alebo *Tinkercad* (ku ktorému sa dostaneme neskôr). Cieľom tohto materiálu nie je učiť tvorbu 3D návrhu. Ide o intuitívny, systematický proces, ktorý do veľkej miery závisí od zložitosti 3D modelu. V každom softvéri existujú návody a užitočné tipy. Štruktúra ponuky a nápovedy sú základom pri dosahovaní požadovaného modelu. Praktické sú aj knižnice s otvoreným zdrojovým kódom. Základné pojmy pre bežné voľby pri 3D tlači (dizajn, model, typ materiálu alebo technológia) sú podrobnejšie opísané napr. v kapitolách 2 až 4 [8].

Návrh je primárna fáza 3D tlače. Predstavuje prenesenie myšlienky alebo konceptu do fyzického objektu, čo nie je vždy jednoduché. Štandardne máme na mysli 3D tlačiarne s najpoužívanejším typom materiálu – tlačovej struny.

V tejto fáze budeme brať do úvahy:

- aké rozmery bude mať konečný produkt; porovnáme ho s maximálnou veľkosťou modelov, ktoré môžeme vyrobiť pomocou našej 3D tlačiarne;
- typ/veľkosť tlačovej dýzy extrudéra, t. j. rozlíšenie, ktoré budeme mať (tiež závisí od danej tlačiarne);
- musíme sa vyhnúť niektorým veľmi ostrým hranám alebo príliš jemným či tenkým povrchom.

*Tinkercad* je jednoduchý a intuitívny softvér (najmä pre začiatočníkov). Nevyžaduje si lokálnu inštaláciu, ale vytvorenie účtu spojeného s e-mailovou adresou, najlepšie prepojeného so vzdelávacím systémom, orientovaným najmä na vzdelávanie. Matematickejší softvér možno použiť, ak používateľ potrebuje realizovať veľmi presné, prepracované alebo zložité projekty či modely. Spomenieme napríklad potrebu vytvárať modely povrchov popísané presnými matematickými rovnicami, napríklad mať parabolický povrch (z 3D modelu), ktorého rovnica je známa. Preto sa obrátíme na softvér, ktorý má v oblasti projektovania možnosť zadávať rovnice (*Mathematica*, *DesignSpark Mechanical* a mnohé iné).

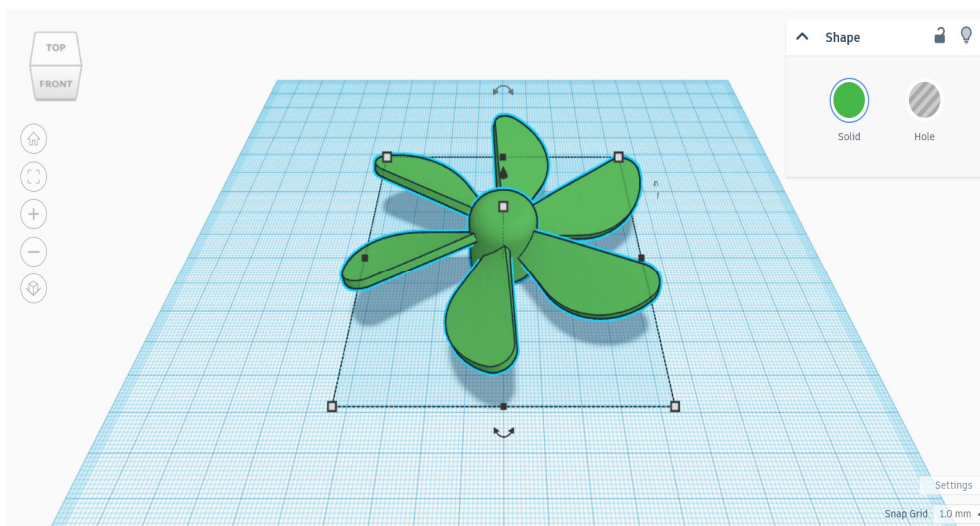
Na obr. 7.1 je ukážka pracovného plánu v programe *Tinkercad*. Táto miniatúrna veterná turbína bude neskôr pripojená k miniatúrnemu elektromotoru (ktorý sa dá použiť aj ako elektrický generátor).

Nasledujúce vlastnosti sú viac-menej spoločné pre všetky softvéry na 3D navrhovanie (na 3D tlač):

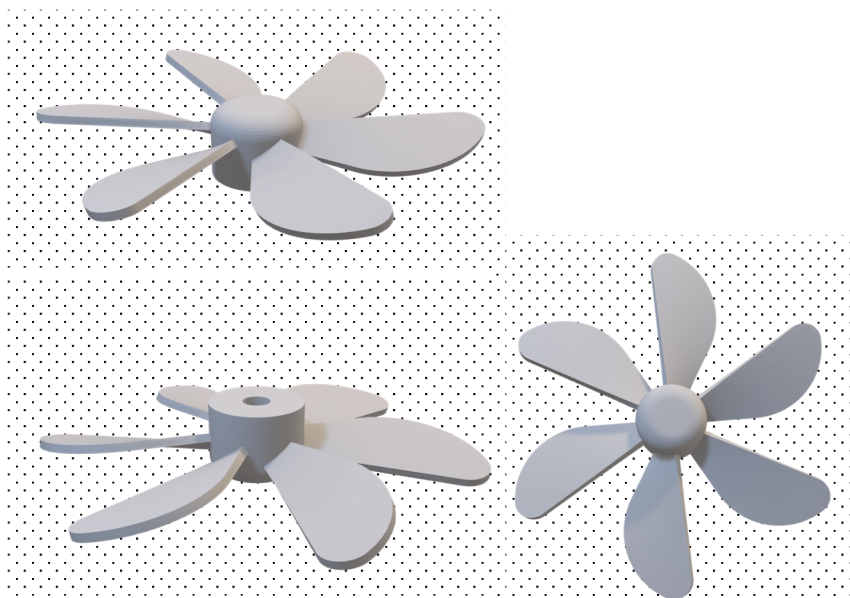
- Výraznou farbou je znázornený pracovný priestor, ktorý je možné označiť, a tým určiť mierku a veľkosť 3D modelu. Tu je označená v milimetroch. Lahko zistíme, že pracujeme na objekte s maximálnou veľkosťou 90 mm. Je nevyhnutné, aby sme mali implicitne veľmi jasne na pamäti veľkosť modelu.
- Objekt (model) môžeme otáčať v priestore pozdĺž troch osí. Po celý čas pri navrhovaní však majme na pamäti, že 3D tlač sa bude vykonávať po vrstvách. Takže máme na pamäti plán tlače (budúcej tlačiarne) a zvyčajne aj to, aký typ materiálu (plast, kov

alebo živicu) budeme mať k dispozícii a maximálne rozmery predmetu, ktoré môže tlačiareň vytlačiť. Pokiaľ možno pri návrhu pracujeme v mierke 1:1.

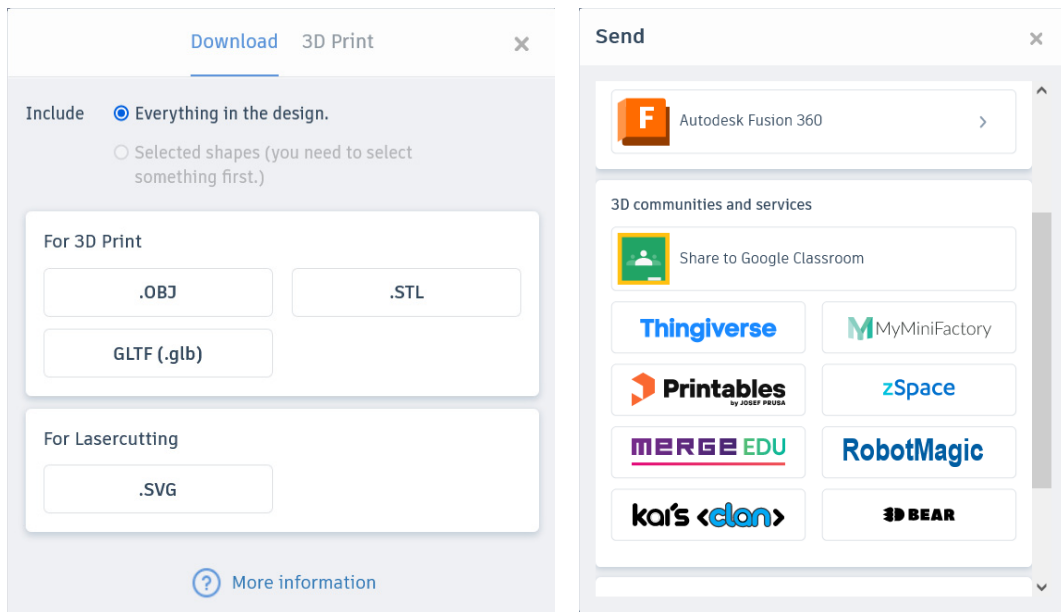
- V závislosti od zložitosti modelu je potrebné niektoré jeho časti podložiť prebytočným materiálom – podperami, ktoré sa neskôr odstránia. Ich použitie závisí aj od technológie tlače, čo treba zohľadniť pri tvorbe návrhu.
- Dôležitá je aj farba alebo farby navrhovaného objektu. Možno použiť 3D tlač s jednou alebo s viacerými tlačovými hlavami, s rôznymi farbami, prípadne s rôznymi materiálmi.



**Obr. 7.1:** Pracovný priestor v programe Tinkercad s mini turbínou ako 3D objektom.



**Obr. 7.2:** Zobrazenie mini turbíny z rôznych uhlov slúži na predstavenie zložitosti objektu. Model bol zložený z existujúcich častí v zbierke objektov sprístupnených v programe Tinkercad.



**Obr. 7.3:** Po vytvorení 3D návrhu možno z programu Tinkercad vykonať rôzne operácie: export do štandardného formátu (typu súboru) pre 3D tlačiarne, napríklad .OBJ alebo .STL (vľavo), alebo export ako obrázok (v štandardnom, bežnom formáte, napríklad .GIF) alebo zdieľanie s rôznymi aplikáciami alebo platformami. Spomeňme aspoň Autodesk Fusion 360 a Google Classroom (vpravo).

Neskôr súbor programu CAD prevezme 3D tlačiareň. Navrhnutý model musí byť štruktúrovaný na dvojrozmerné vrstvy (rezy). Preto potrebujeme program, ako je 3D Slicer, ktorý umožňuje previesť 3D model do jazyka (blokov dát), ktorý dokáže 3D tlačiareň použiť v procese prečítať a vykonať ako súbor inštrukcií. Používateľ môže použiť programy na 3D rezy s otvoreným zdrojovým kódom (napríklad 3D Slicer alebo Ultimaker Cura).

My sme použili tlačiareň Raise3D s programom 3D Slicer – IdeaMaker Software Slicer. Pomocou programu IdeaMaker môžeme pripraviť (na tlač pomocou Raise3D) 3D modely a neskôr prostredníctvom platformy na správu tlače poslať do tlačiarne výrobok, ktorý sa bude tlačiť.

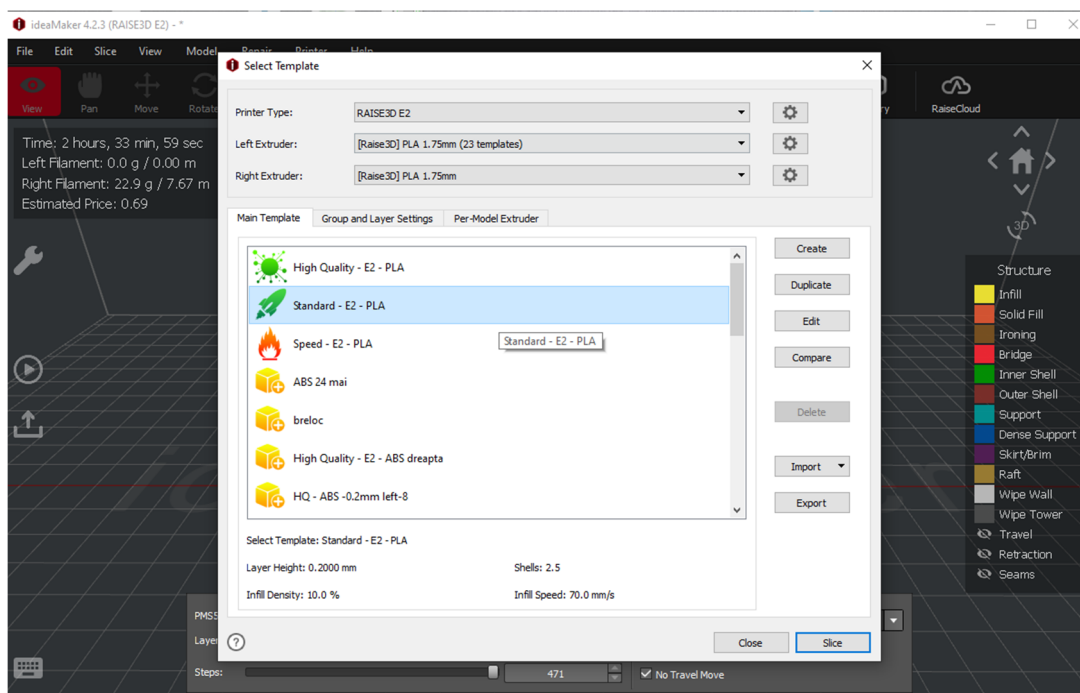
Nakoniec na tlač odošleme g-kód. Ten je pre každý model (zvyčajne) jedinečný. V našom prípade sme g-kód vygenerovali v programe 3D Slicer.



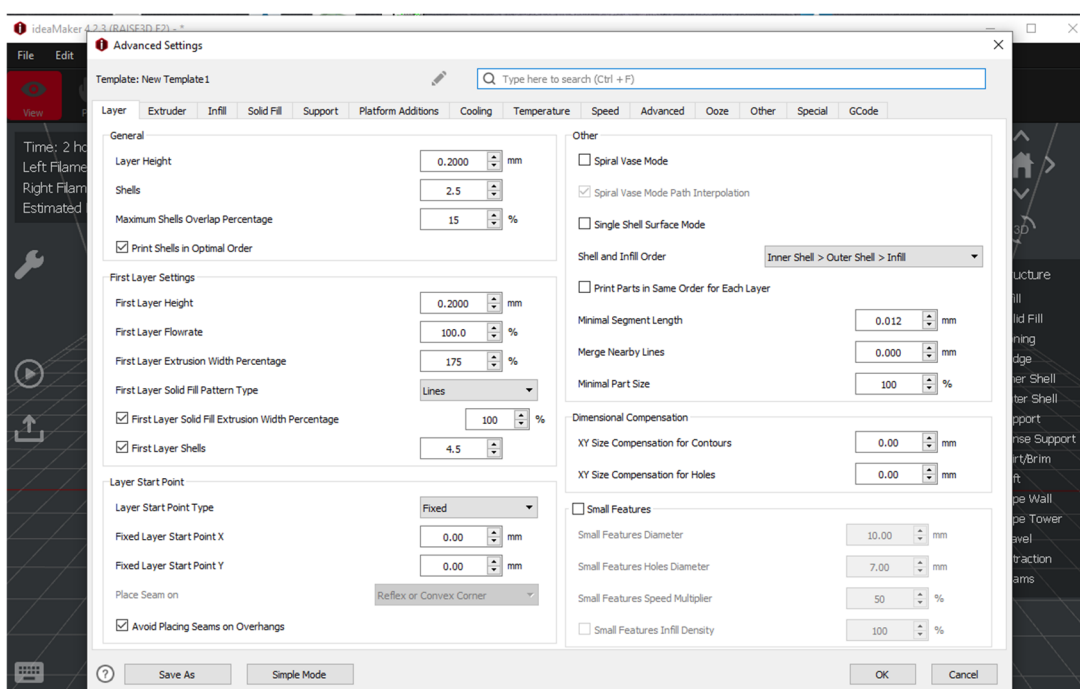
**Obr. 7.4:** Kryty a ochranné krabičky z PLA pre enviromentáln senzory. Na pere vedľa dvoch oranžových krytov je vidieť mierku v centimetroch.

### 7.3. Úlohy

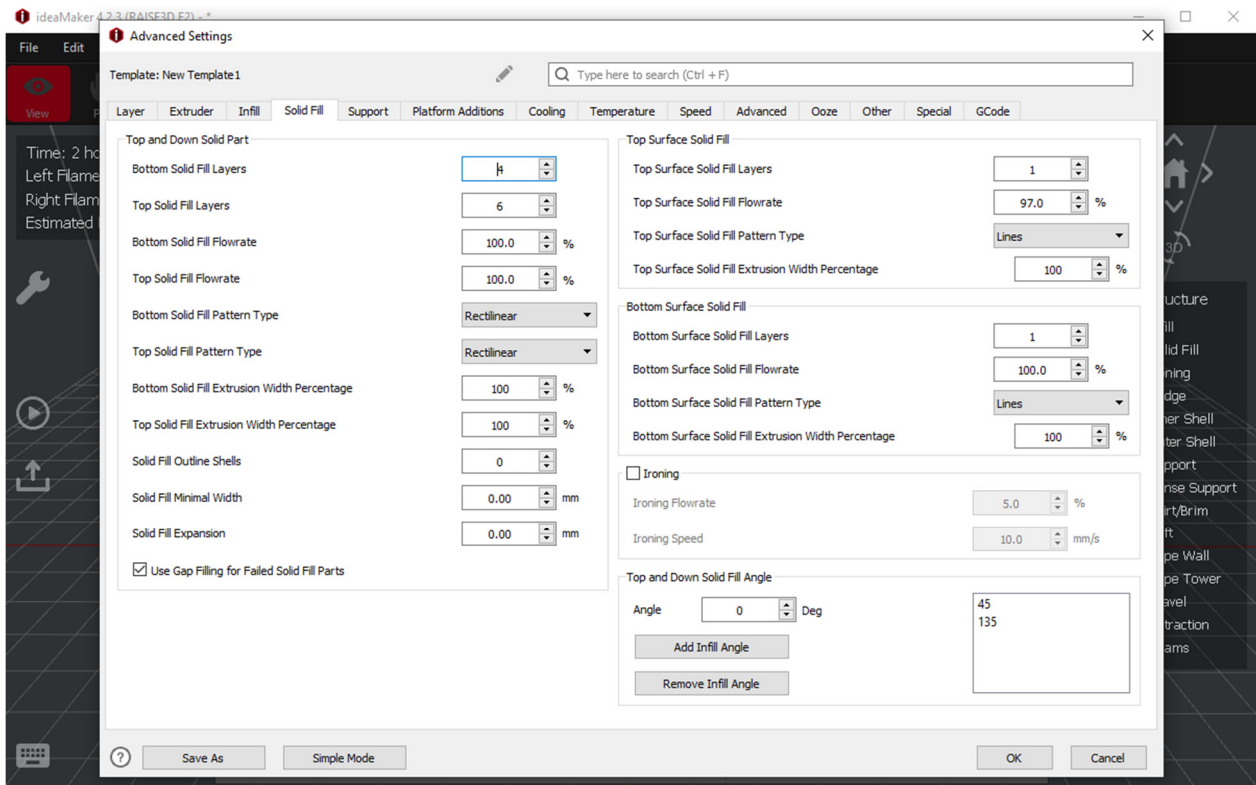
Na nasledujúcich obrázkoch (7.5 až 7.14) z programu Slicer je vidieť prípravu na 3D tlač krabičiek pre environmentálne senzory. Na zabezpečenie správneho priebehu 3D tlače je potrebných niekoľko krokov. Od začiatku musíme zväziť orientáciu dielu. Okrem toho nemôžeme tlačiť povrchy, ktoré nie sú podopreté ďalšou podporou (t. j. sú vo vzduchu, ako napríklad vrchná strana krabičky a pod.). Pod obrázkami sú popísané jednotlivé kroky.



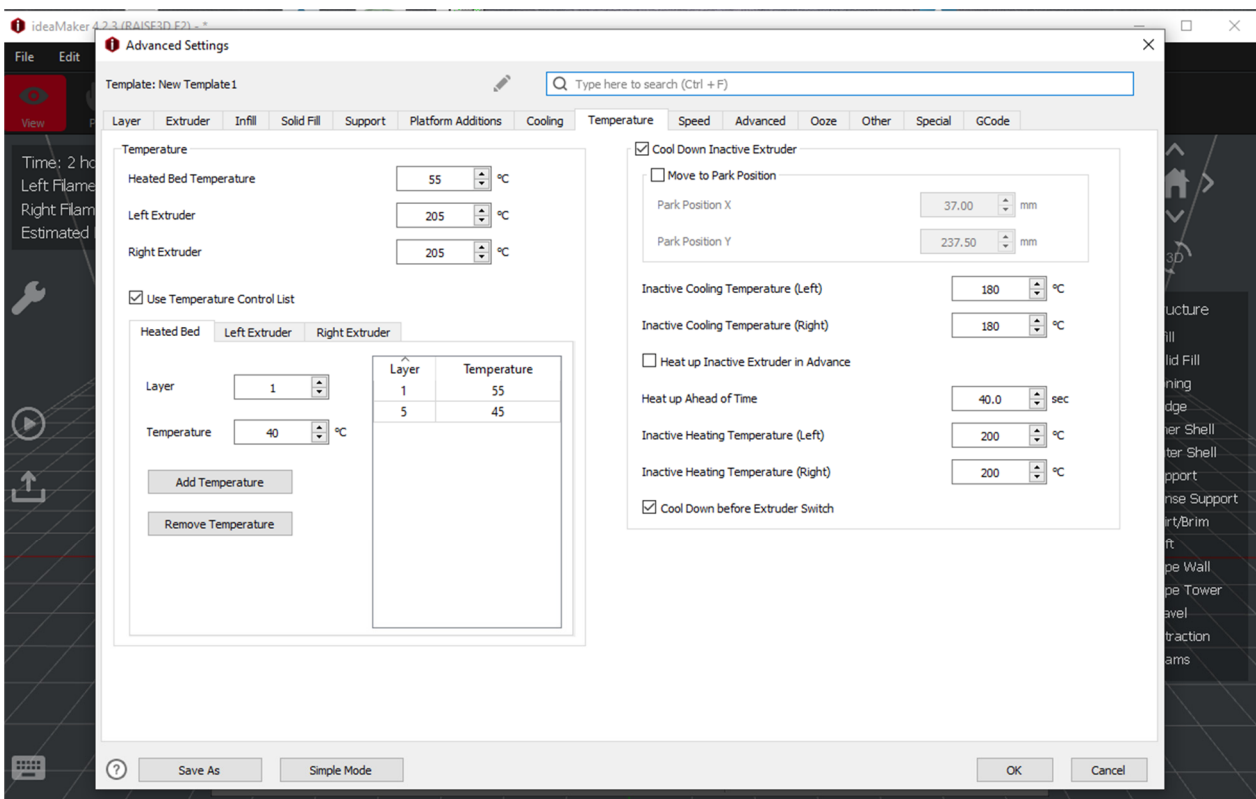
**Obr. 7.5:** Tlač krabičky pre environmentálne senzory. Ako filamentový materiál používame PLA. Vychádzali sme z variantu Standard (poskytovaného softvérom tlačiarne), ktorý sme prispôbili nášmu modelu.



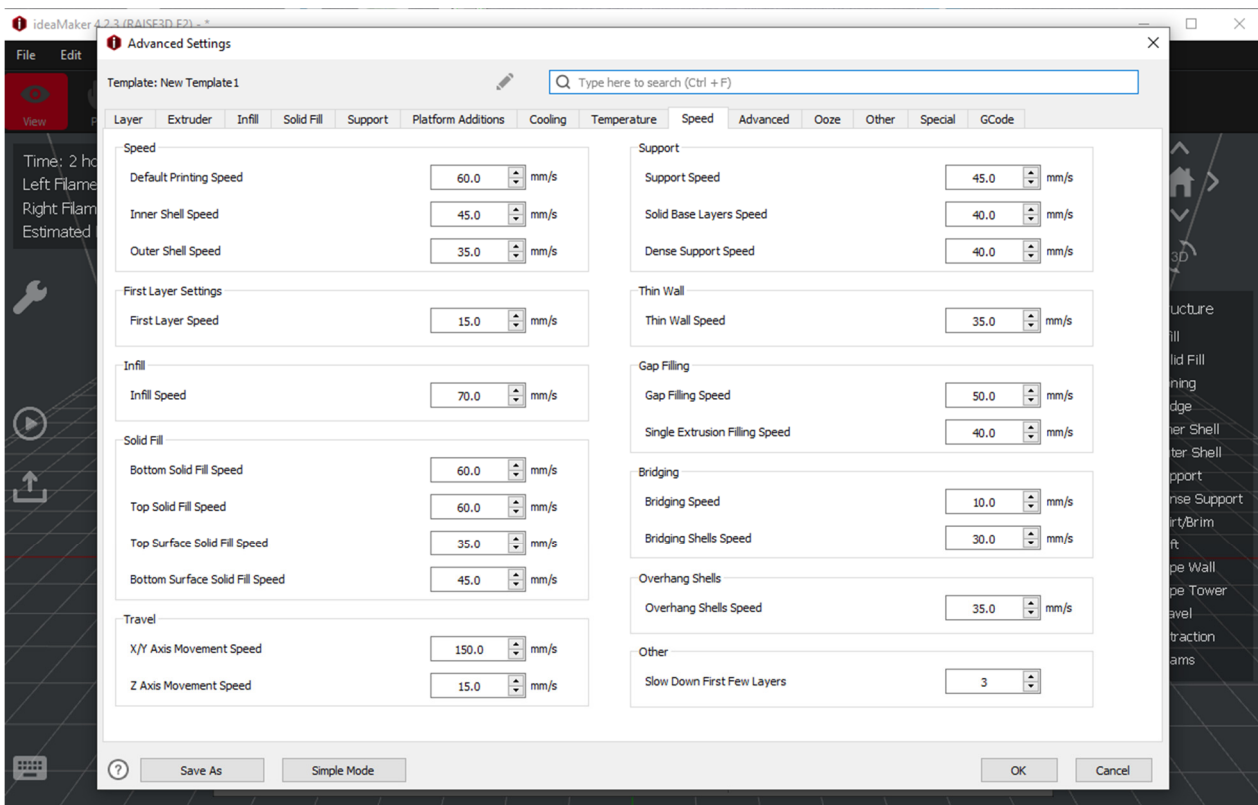
**Obr. 7.6:** Iniciácia príkazov, ktoré poskytli tlačiarňami informácie o tom, ako vytvoríť prvé vrstvy (layers) a neskôr telo modelu.



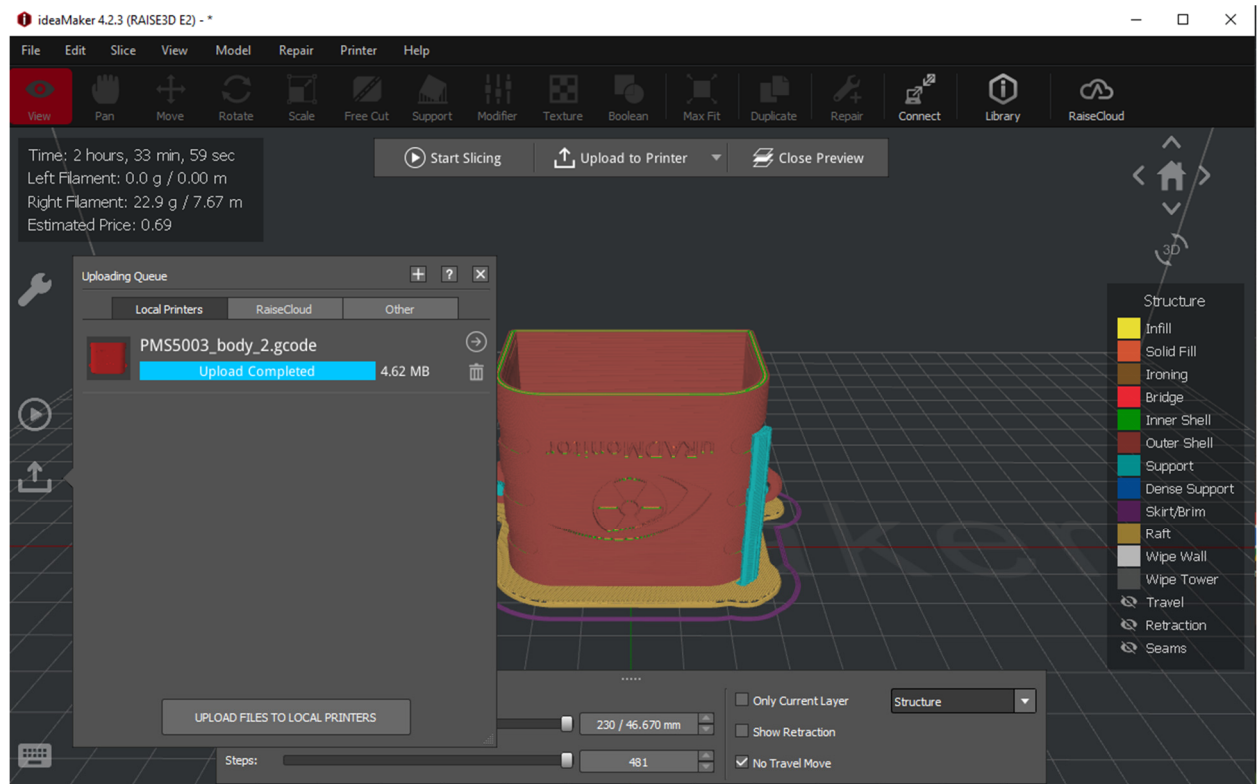
**Obr. 7.7:** Určenie typu pevnej vrstvy, ktorá bude používaná pri 3D tlači.



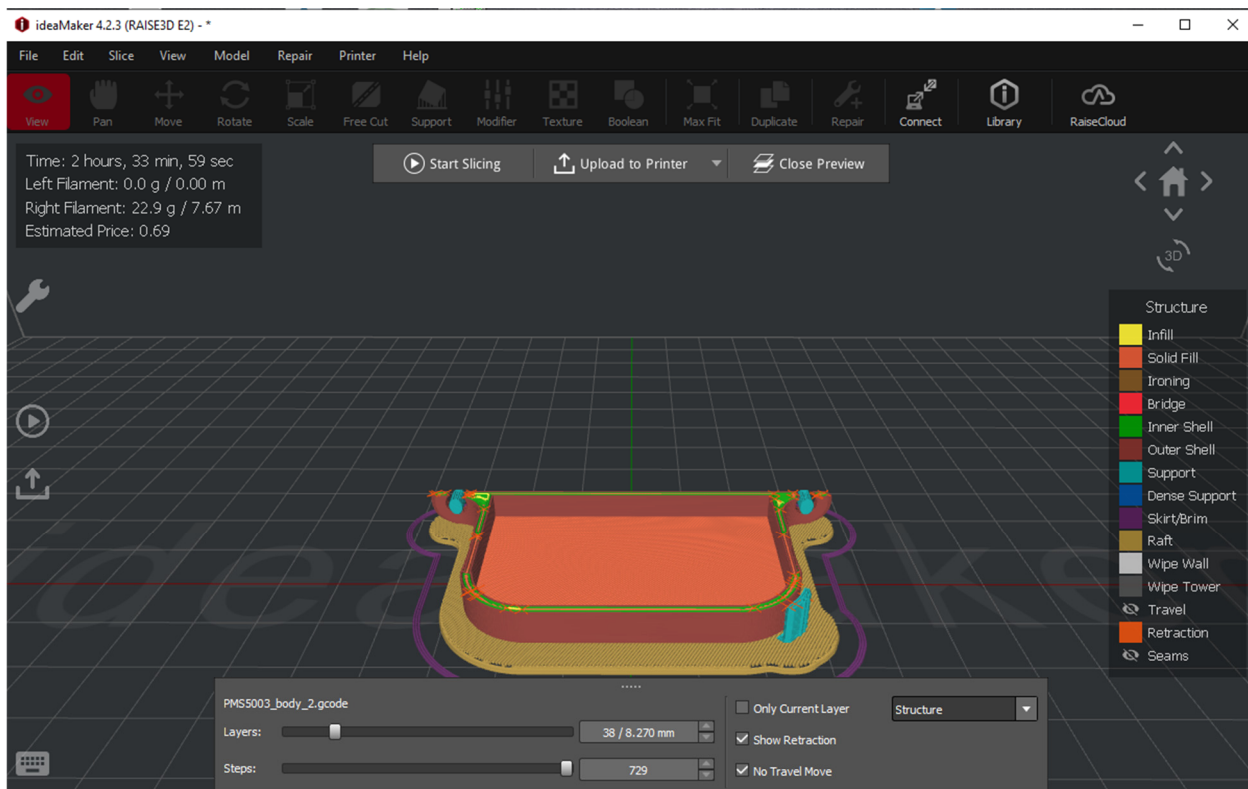
**Obr. 7.8:** Stanovenie teploty používanej pri 3D tlači, teploty podkladu (vyhrievaného lôžka), použitého extrudéra (použili sme ľavý extrudér; použitá tlačiareň má dve tlačové hlavy).



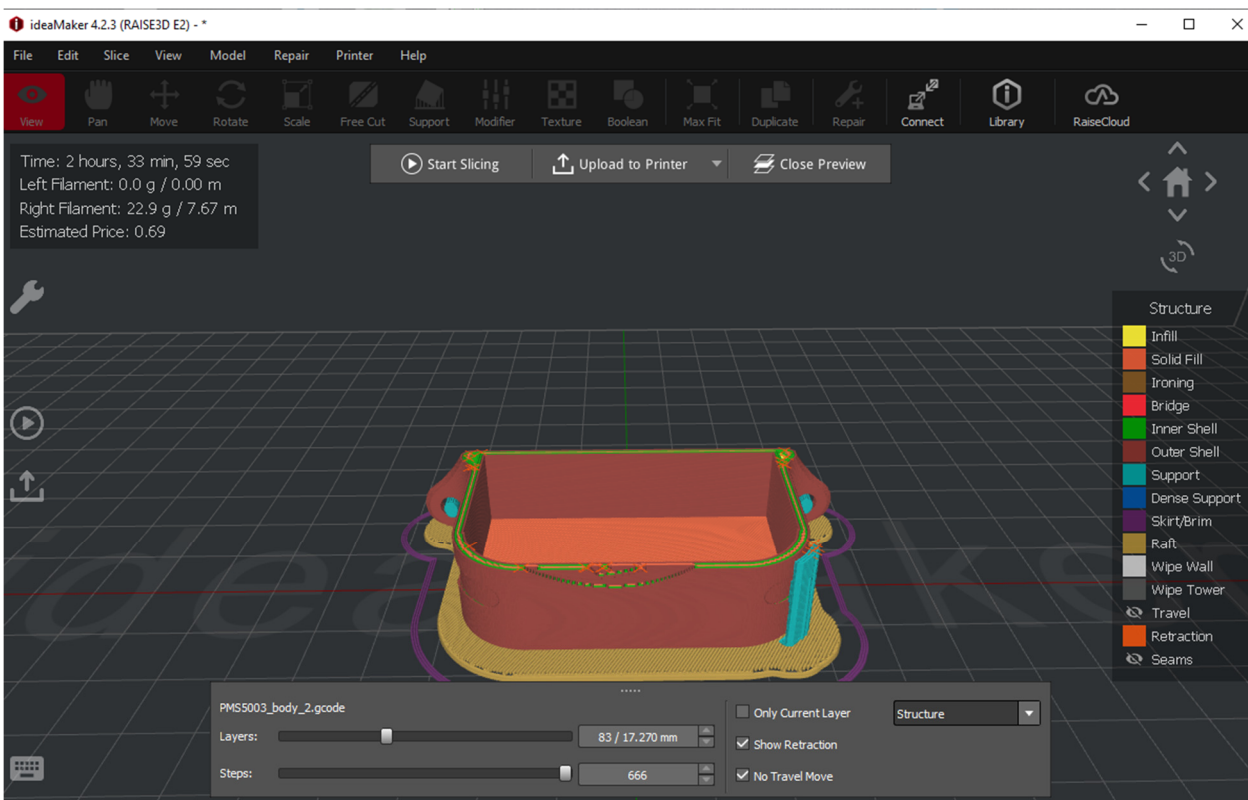
**Obr. 7.9:** Kontrola nastavenia rýchlosti tlače. Najmä v prípade vysokých alebo asymetrických dielov je vhodnejšie použiť štandardnú rýchlosť, nie veľmi vysokú, pretože je možné, že kvôli zotrvačnosti sa diel počas tlače odlepí, čo automaticky vedie k chybnému komponentu.



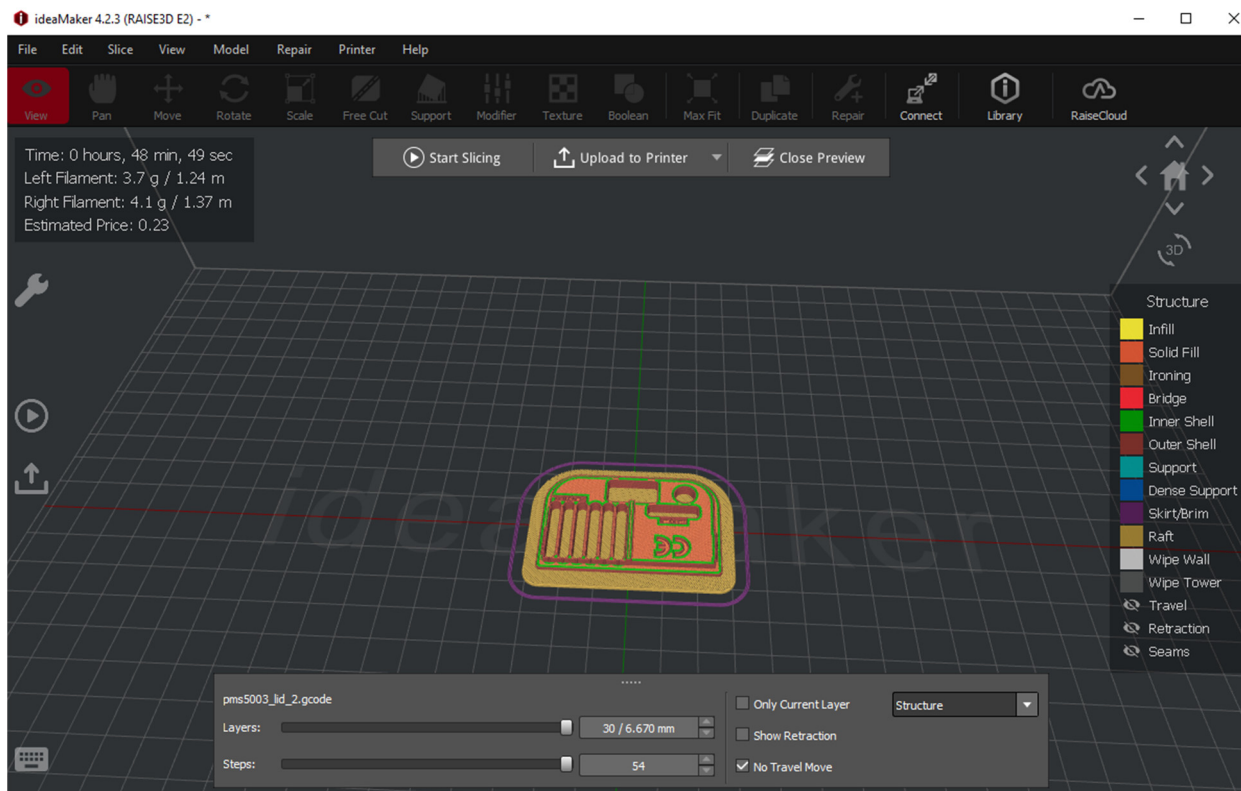
**Obr. 7.10:** Po stanovení všetkých parametrov je možné vytvoriť g-kód, ktorý sa bezdrôtovo odošle do tlačiarne.



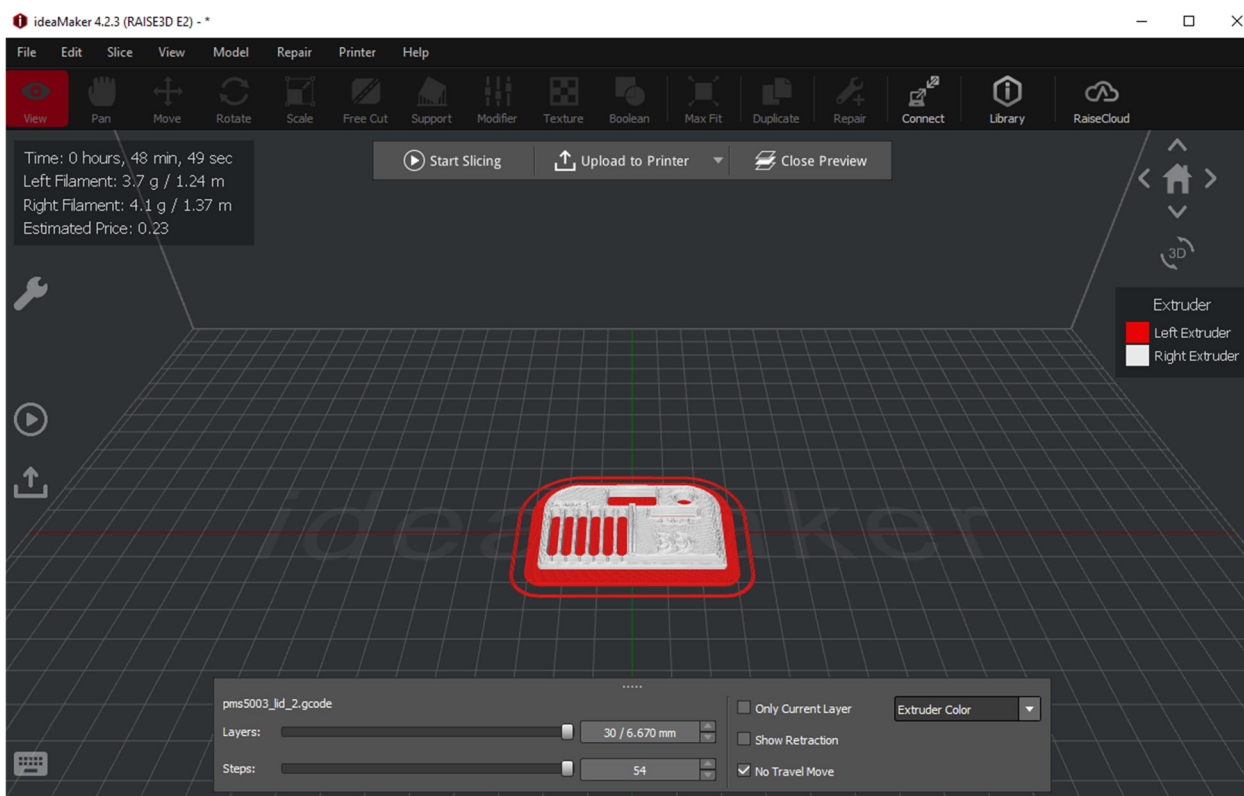
**Obr. 7.11:** Ukážka toho, ako bude prebiehať 3D tlač nášho modelu.



**Obr. 7.12:** Je možné si vybrať rôzne spôsoby/farby pre pochopenie, ako bude postavená základná podpora (to, čo sa vyhodí), 3D časť (požadovaný model) a dodatočná podpora (to, čo sa vyhodí, odstráni – po celkovej realizácii 3D tlače).

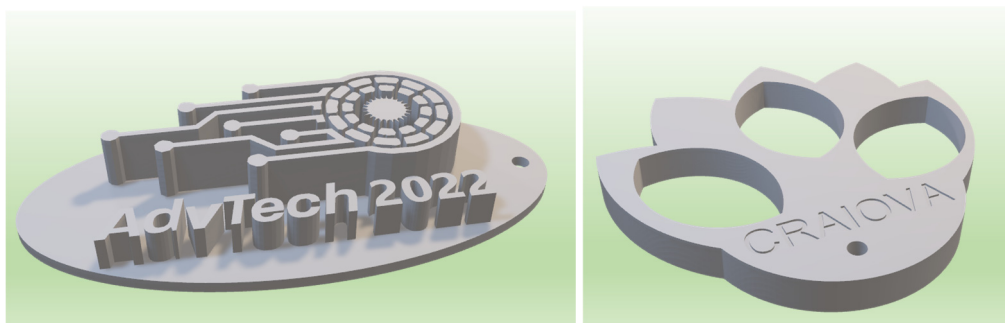


**Obr. 7.13:** Kryt krabičky senzora.

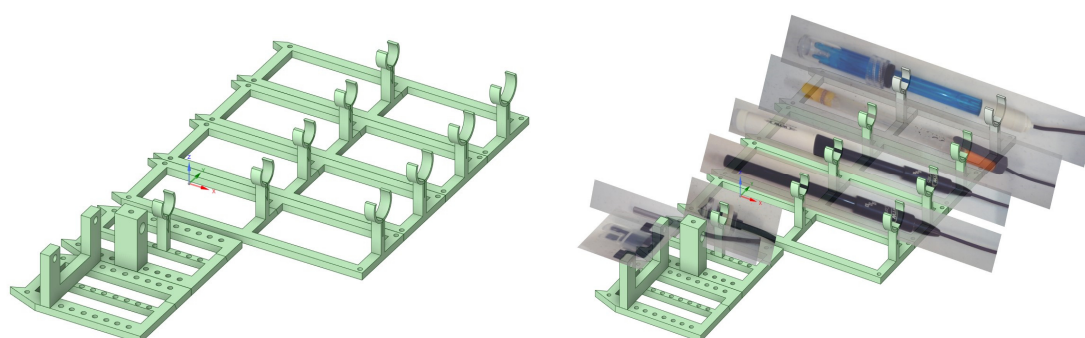


**Obr. 7.14:** Na samotné telo 3D dielu bol použitý biely PLA s červeným podkladom.

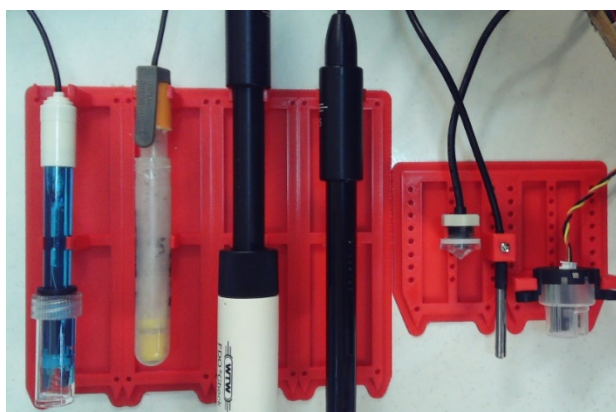




**Obr. 7.15:** Dva 3D modely premietané na letnej škole Erasmus+ (od roku 2022).



**Obr. 7.16:** 3D tlačový držiak pre sadu senzorov. Na ľavej strane je 3D držiak. Na pravej strane sú obrázky senzorov preložené cez štandardnú základňu (zľava nadol až doprava nahor sú umiestnené senzory viacerých veličín, ako sú: zákal, teplota, hladina, vodivosť, kyslík, pH, atď.).



**Obr. 7.17:** 3D tlačový držiak na sadu senzorov a senzory (aktuálna situácia).

## Literatúra

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.

## 8. KAPITOLA. ZÍSKAVANIE SÚBOROV ÚDAJOV ZOZBIERANÝCH SENZORMI

Túto kapitolu napísala Mihaela Tinca Udristioiu Z Univerzity v Craiove, Rumunsko

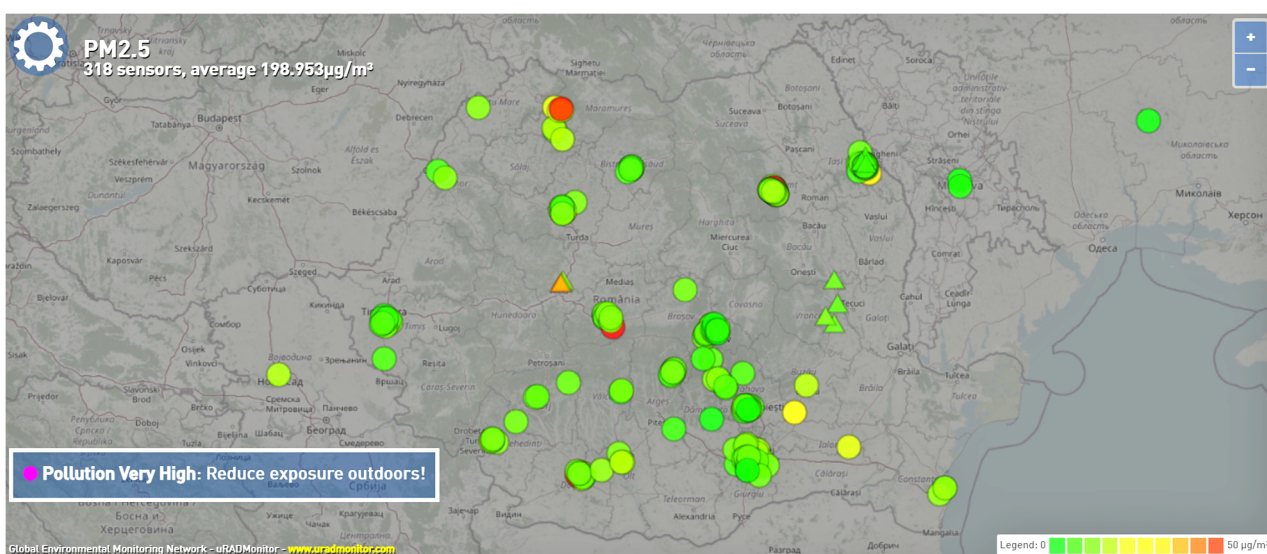
### 8. Trochu teórie na úvod

#### 8.1. Popis siete senzorov

Sieť PM senzorov *Smoggie* vytvorená v rámci projektu Erasmus+ študentmi (počas letných škôl) predstavuje rozšírenie siete, ktorá bola realizovaná v rámci ďalších troch dobrovoľníckych projektov (Clear Air Craiova, Clear Air Oltenia a Prevent) v posledných rokoch (2020-2023) na univerzite v Craiove. Na úrovni regiónu Oltenia sieť zahŕňa senzor A3, senzor ionizujúceho žiarenia, radónový senzor a 33 senzorov *Smoggie* PM. Sieť [www.clearairoltenia.ro](http://www.clearairoltenia.ro) je súčasťou väčšej siete [www.uradmonitor.com](http://www.uradmonitor.com), ktorá obsahuje senzory viacerých typov vrátane *Smoggie* CO<sub>2</sub>, *Smoggie* Gas, Model Industrial a Model City.

Na nasledujúcom obr. 8.1 je vidieť senzory [uradmonitor.com](http://www.uradmonitor.com) z Rumunska. Väčšina snímačov je typu *Smoggie* PM, pričom sieť bola vytvorená za účasti miestnych komunít, ktoré chceli overiť údaje poskytované miestnymi úradmi na ochranu životného prostredia v súvislosti so slabou komunikáciou miestnych orgánov. Na mape sú znázornené senzory, ktoré merajú koncentráciu PM<sub>2.5</sub>. Farba senzora súvisí s úrovňou znečistenia v mieste, kde je senzor umiestnený (zelená znamená výbornú kvalitu ovzdušia a červená veľmi zlú kvalitu ovzdušia). Z hľadiska užitočnosti je sieť jednoduchá a intuitívna.

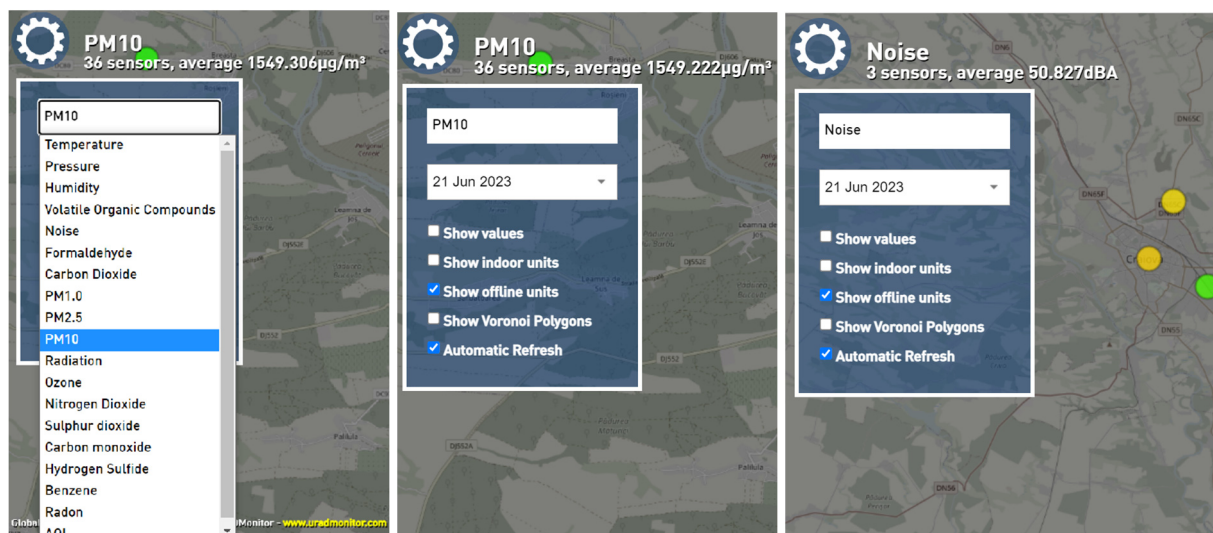
V rámci projektu Erasmus+ *Uplatňovanie niektorých pokročilých technológií vo výučbe a výskume v súvislosti so skúmaním znečistenia ovzdušia* (zmluva č. 2021-1-RO01-KA220-HED-000030286) bola sieť rozšírená na územie partnerských univerzít: Bulharsko, Slovensko a Turecko.



Obr. 8.1: Sieť senzorov [uradmonitor](http://uradmonitor.com) v Rumunsku.

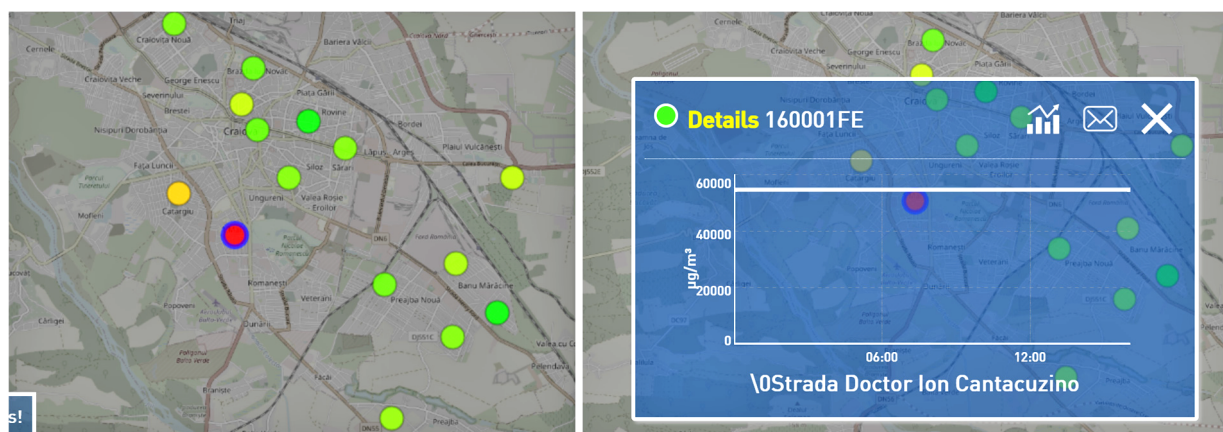
## 8.2. Opis experimentálneho vybavenia: Získavanie informácií zo senzorov

K sieti má prístup ktokoľvek, kedykoľvek a kdekoľvek. Prvým krokom, ktorým sa získavajú informácie z aktuálneho dňa na úrovni Rumunska, regiónu alebo mesta, je výber senzora na mape senzorov a následne požadovaného parametra. Na tento účel sa vyberie požadovaný parameter, ako je znázornené na obr. 8.2 až 8.4.



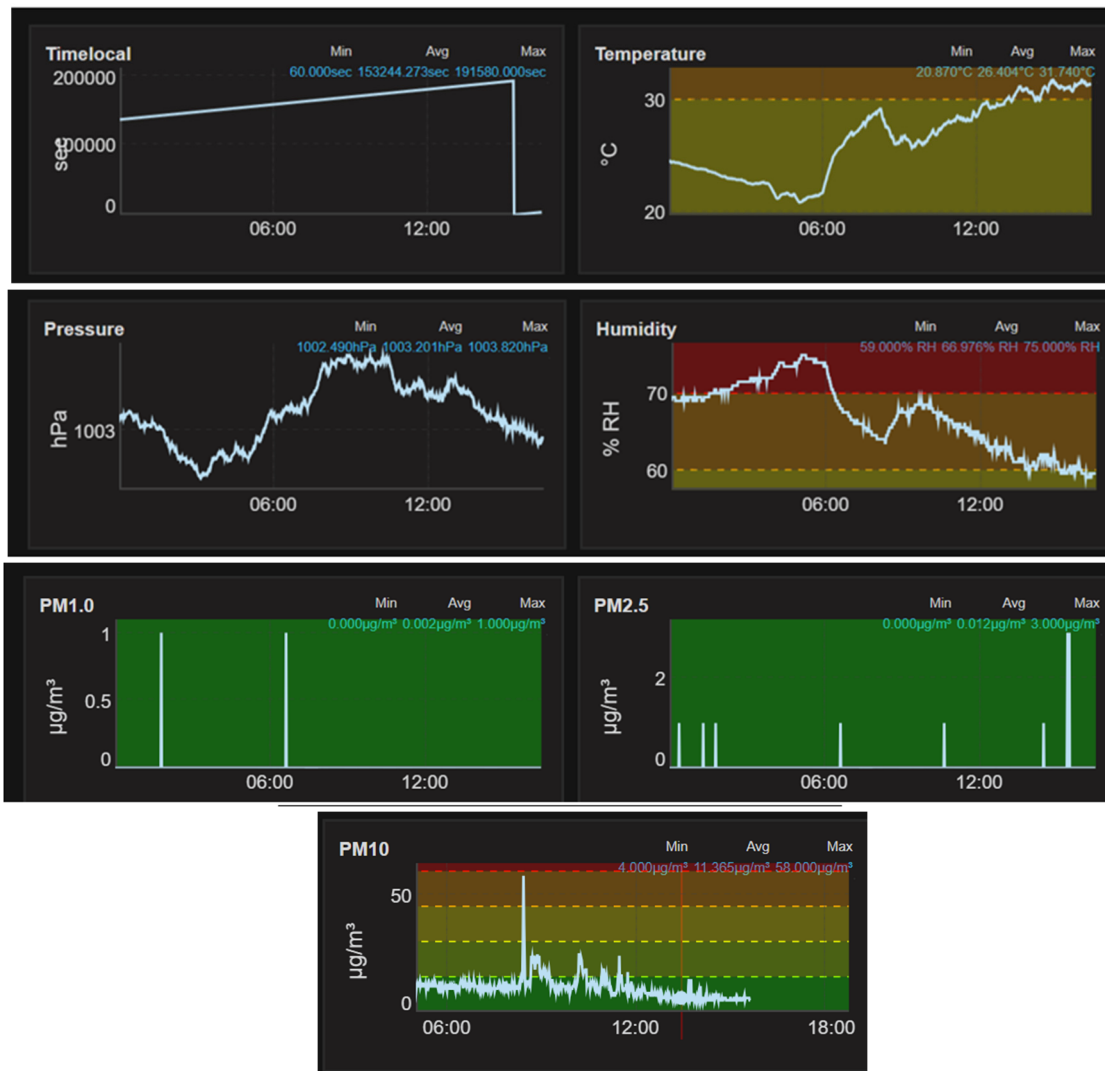
**Obr. 8.2:** Výber parametra pre zobrazenie požadovaných informácií.

Na získanie aktuálnych informácií z vybraného senzora stačí kliknúť na daný senzor v určitej oblasti (ktorej okraj sa zmení na modrý) a okamžite sa zobrazia informácie o vybranom parametre v časovom intervale od 0:00 do aktuálneho času vo forme grafu (pre jednoduchšiu vizualizáciu).



**Obr. 8.3:** Výber parametra z konkrétneho senzora a zobrazené informácie.

Po kliknutí na konkrétny senzor sa zobrazia jeho merania od daného dňa do aktuálneho času. V prípade PM senzora Smoggie v čase a mieste, kde sa senzor nachádza, vyzerá časové zobrazenie jednotlivých parametrov ako na nasledujúcom obr. 8.4.



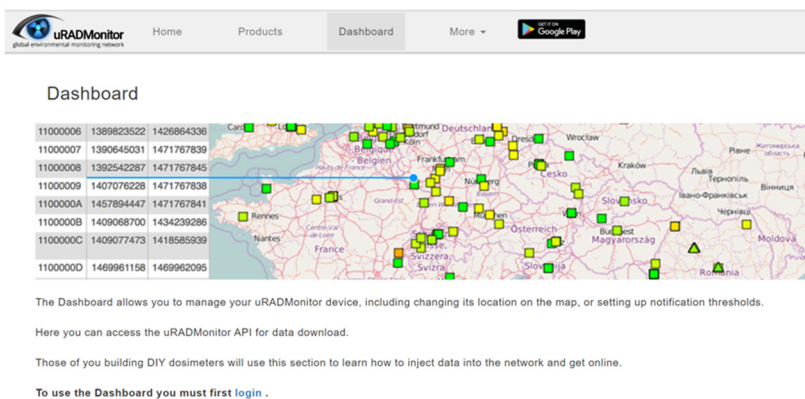
**Obr. 8.4:** Grafické znázornenie meteorologických parametrov a koncentrácií častíc v ovzduší.

Senzory v sieti poskytujú údaje za dlhšie obdobie vo forme súborov typu CSV (Comma Separated Values). Ak chceme získať súbory údajov pre dlhšie obdobie ako jeden deň, je potrebné vlastníčkovi siete uRADmonitor zaslať e-mailom žiadosť, v ktorej sa uvedie senzor a obdobie, za ktoré potrebujeme údaje. Osoby, ktoré si zakúpili senzory, môžu sťahovať údaje priamo zo svojich účtov. PM senzory Smoggie merajú tri meteorologické parametre (teplota, tlak, relatívna vlhkosť) a tri koncentrácie častíc suspendovaných v ovzduší (PM1, PM2,5, PM10).

## 8.3. Úlohy

### 8.3.1. Stiahnutie súborov

Ak chce používateľ stiahnuť požadované údaje, je potrebné prejsť na webovú lokalitu uRADmonitor a kliknúť na tlačidlo Dashboard. Ďalším krokom je prihlásenie (Login) pomocou používateľského mena a hesla (obr. 8.5).



Username or Email Address

Password

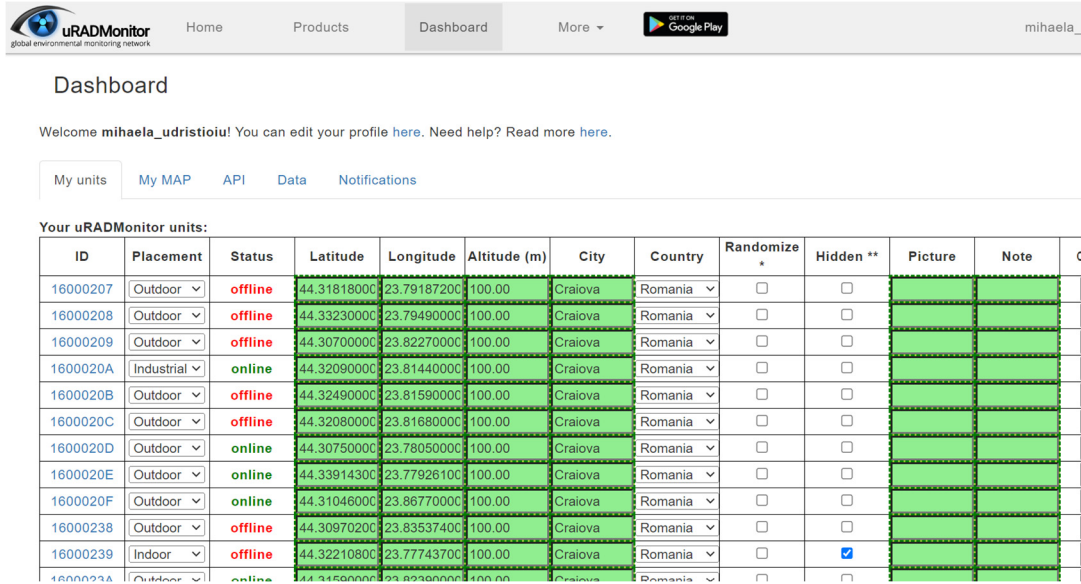
Antispam 2x(3+4)=?

Remember Me

[Lost your password?](#)

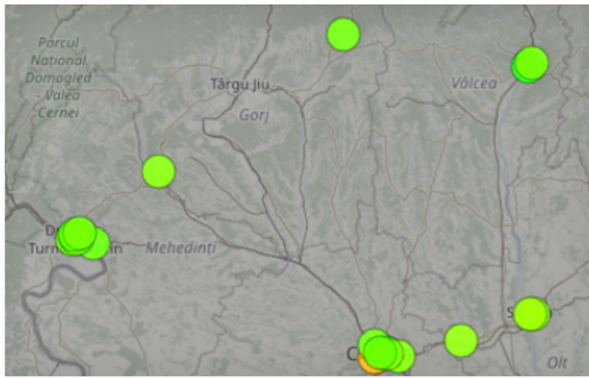
**Obr. 8.5: Prihlásenie používateľa.**

Po overení môže používateľ na ovládacom paneli vidieť ID senzorov, ktoré vlastní, ich GPS súradnice, stav (online alebo offline), mesto a krajinu, v ktorej sa daný senzor nachádza (obr. 8.6).



**Obr. 8.6: Zobrazenie senzorov prihláseného používateľa na ovládacom paneli.**

Kliknutím na tlačidlo *Moja mapa* môže používateľ zobrazíť svoje senzory na mape (obr. 8.7).



**Obr. 8.7: Mapa používateľa.**

Tlačidlo *API* poskytuje informácie o spôsobe identifikácie používateľa (obr. 8.8).

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)**

**Obr. 8.8:** API informácie.

Kliknutím na tlačidlo **Údaje** sa zobrazí návod na export údajov vo formáte JSON/CSV (obr. 8.9). Taktiež je možné získať informácie súvisiace so získaním reálneho času, v ktorom bolo vykonané konkrétne meranie, je však potrebné zvoliť časový interval, ktorý chceme analyzovať.

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

**Obr. 8.9:** Zobrazenie návodu na získanie údajov v reálnom čase v súbore údajov.

**Obr. 8.10:** Výber časového intervalu, pre ktorý budeme sťahovať údaje.

Ak chceme prevziať údaje z konkrétneho snímača na paneli *Dashboard*, stlačíme tlačidlo *Údaje*, vyberieme požadovaný časový interval (maximálne dva mesiace), prejdeme na ID snímača a zvolíme parameter alebo parametre, o ktorých chceme získať informácie (obr. 8.11).

**1. Select time interval**  
1 Jun 2023 - 21 Jun 2023

Format  
 JSON  CSV

**2. Select Unit and Sensor then click GO**

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

**Obr. 8.11:** Výber parametra, ktorý sa má prevziať pre daný časový interval.

Po kliknutí na tlačidlo „go“ používateľ stiahne údaje získané vo zvolenom časovom intervale. Môžete zobraziť proces načítania a jeho ukončenie (počet riadkov s informáciami o vybranom parametri).

**2. Select Unit and Sensor then click GO**

	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

**2. Select Unit and Sensor then click GO**

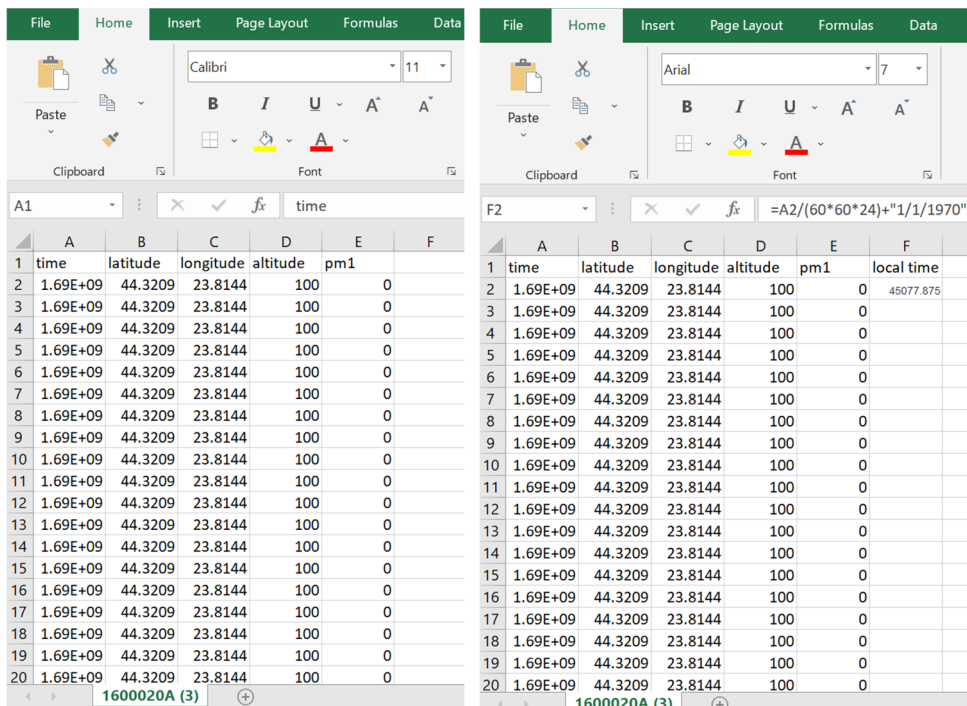
	ID	Firmware	City	Status	Sensor	Download
ok	16000207	21	Craiova	offline	Timelocal	go
ok	16000208	21	Craiova	offline	Timelocal	go
ok	16000209	21	Craiova	offline	Timelocal	go
ok 29754 row(s) 2439.83 KB	1600020A	21	Craiova	online	PM1.0	go
ok	1600020B	21	Craiova	offline	Timelocal	go
ok	1600020C	21	Craiova	offline	Timelocal	go

**Obr. 8.12:** Stiahnutie údajov pre konkrétny parameter.

Údaje vo formáte .csv sú zobrazené na obr. 8.13. Na časopriestorové vyhodnotenie údajov vložíme do Excel súboru s dátami stĺpec „real-time“ (v reálnom čase) a použijeme jeden z nasledujúcich vzorcov upravených podľa vášho dokumentu:

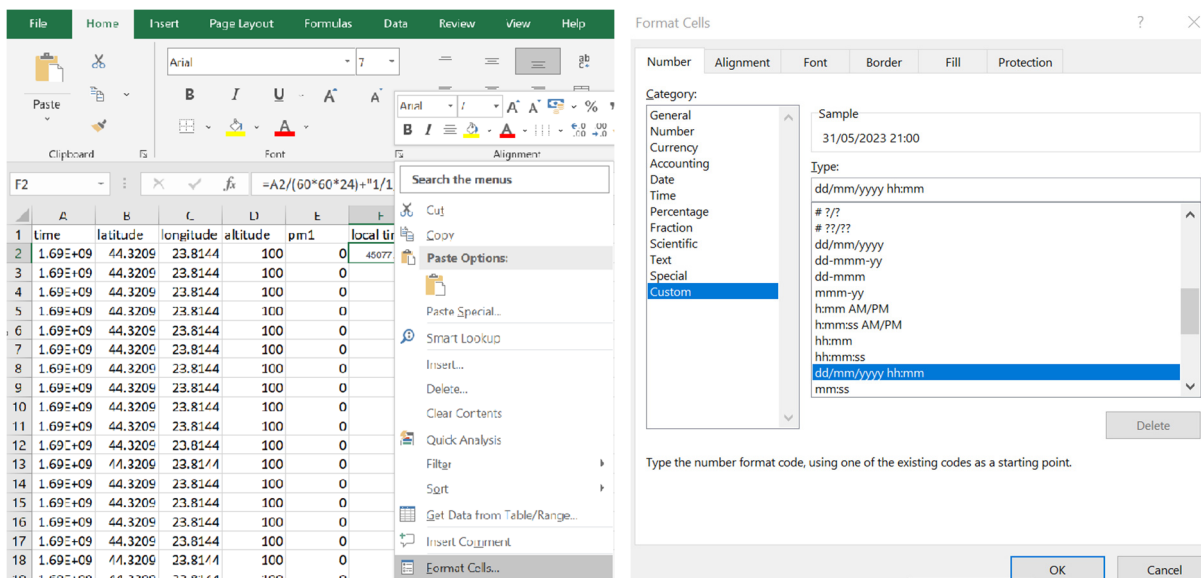
=A2/(60\*60\*24)+"1/1/1970"  
alebo  
=DATE(1970,1,1)+A2/86400.





Obr. 8.13: Vloženie stĺpca „v reálnom čase“ do stiahnutého dokumentu.

Ak chce používateľ uviesť dátum a čas každého merania (obr. 8.14), je potrebné zvoliť správny formát buniek, pričom sa zvyčajne volí formát typu *dd/mm/rrr hh:mm*. Merania vykonáva snímač každú minútu, takže získaný súbor údajov je rozsiahly.



Obr. 8.14: Výber formátu bunky.

Po dvojitém kliknutí na roh prvej bunky v časti „miestny čas“ sa časový parameter zobrazí v celom stĺpci (obr. 8.15).

	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	31/05/2023 21:01
4	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:02
5	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:03
6	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:04
7	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:05
8	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:06
9	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:07
10	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:08
11	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:09
12	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:10
13	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:11
14	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:12
15	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:13
16	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:14
17	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:15
18	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:16
19	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:17
20	1.69E+09	44.3209	23.8144	100	0	31/05/2023 21:18

Obr. 8.15: Údaj o miestnom čase pre celý súbor meraní.

### 8.3.2. Organizácia údajov

Ako sme už spomenuli, údaje, týkajúce sa každého parametra, je možné prevziať za dva mesiace. Sťahovanie údajov pokračuje po jednotlivých parametroch. Pred začatím spracovania údajov sa vytvorí matica so všetkými stiahnutými parametrami (kopírovanie a vkladanie, stĺpec po stĺpci) pre uvažovaný časový interval (obr. 8.16).

	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

Obr. 8.16: Matica údajov získaných zo senzora za určitý časový interval.

### Literatúra

1. [www.uradmonitor.com](http://www.uradmonitor.com) (accessed August 10, 2023)
2. [www.clearairoltenia.ro](http://www.clearairoltenia.ro) (accessed August 10, 2023)

## 9. KAPITOLA. SPRACOVANIE A KORELAČNÁ ANALÝZA ÚDAJOV ZO SENZOROV

*Autorom kapitoly je Ion Buligiu z Univerzity v Craiove, Rumunsko*

### 9.1. Trochu teórie na úvod

#### 9.1.1. Import údajov zo súborov CSV do programu Excel

Snímače teploty, tlaku, vlhkosti a koncentrácie pevných častíc vo vzduchu poskytujú údaje v súboroch CSV (Comma Separated Values). Analýzu týchto údajov možno vykonať prostredníctvom tabuľkového procesora Excel na určenie priemerných hodnôt, stanovenie korelácií medzi zmenami parametrov, ako aj syntézu a grafickú interpretáciu radov údajov získaných zo snímačov.

Štruktúra polí dátových tabuliek (obr. 9.1) je nasledovná:

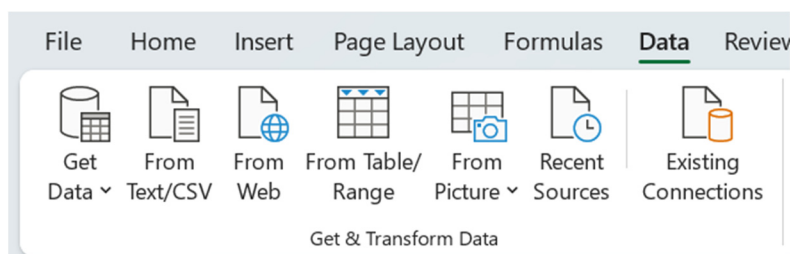
- časový údaj (sériové číslo),
- zemepisná šírka,
- zemepisná dĺžka,
- nadmorská výška,
- teplota (°C), vlhkosť (hPa), relatívny tlak (%), PM 1, 2,5 a 10  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- miestny čas.

	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

**Obr. 9.1:** Štruktúra údajov poskytovaných senzormi.

Údaje sa musia importovať do zošitov programu Excel, aby sa mohli správne analyzovať a interpretovať.

Excel používa nástroj na import z karty *Údaje*, skupina príkazov *Získať a transformovať údaje*, tlačidlo *Z textu/CSV* (obr. 9.2).

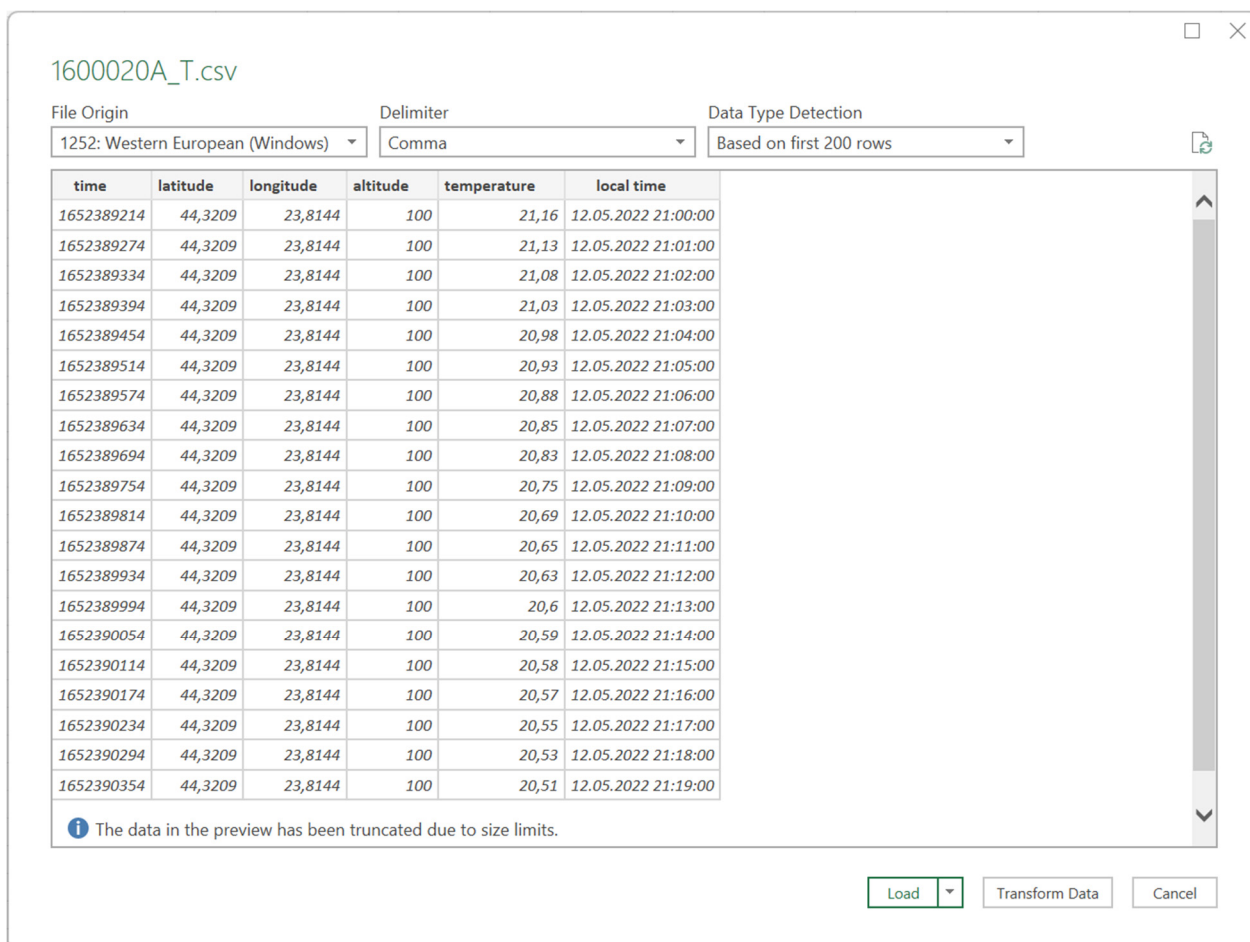


**Obr. 9.2:** Skupina príkazov na import údajov do programu Microsoft Excel.

Používatelia prejdú na súbor CSV, ak ho chcú importovať, a vyberú ho. V rozbaľovacom dialógovom okne (obr. 9.3) je potrebné vybrať správny oddeľovač (čiarku pre súbory CSV) a zobrazíť náhľad údajov.

Ak sú všetky nastavenia správne, stlačením tlačidla *Import* dokončíme proces importu.

Po dokončení týchto krokov sa údaje zo súboru CSV importujú do programu Excel a zobrazia sa v tabuľke. Túto tabuľku môžete uložiť ako súbor programu Excel alebo vykonať s importovanými údajmi akékoľvek iné operácie alebo analýzy.

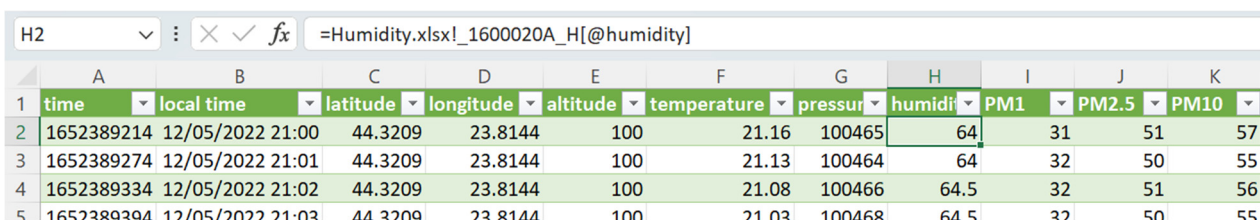


Obr. 9.3: Import údajov z CSV súboru.

### 9.1.2. Centralizácia údajov

Vychádzajúc zo samostatných štruktúrálnych dátových súborov musíme centralizovať všetky údaje zo senzorov teploty, tlaku, vlhkosti a koncentrácie tuhých častíc vo vzduchu do jednej dátovej tabuľky.

Jednoduchým postupom adresujeme externé údaje z každého parametra v centralizovanej tabuľke údajov.



Obr. 9.4: Používanie externých adries na centralizáciu údajov.

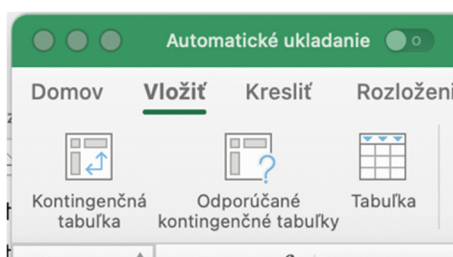
Použitie externých adries (obr. 9.4) v bunkách súhrnnej tabuľky je vzhľadom na veľkosť tabuľky údajov pohodlnejšie ako kopírovanie a čo je dôležitejšie, centralizované údaje budú

prepojené so zdrojmi údajov. Akúkoľvek zmenu v zdrojoch údajov bude Excel automaticky aktualizovať s nevyhnutnou podmienkou, že pri prístupe k centralizovanej tabuľke údajov sú otvorené zošity a zdroje údajov.

### 9.1.3. Analýza údajov pomocou nástroja Kontingenčná tabuľka

Ďalším krokom je syntéza všetkých dátových senzorov, pretože máme veľa záznamov (desiatky tisíc dátových riadkov). Každý snímač hlási hodnoty parametrov každú minútu, takže na jednoduchšie vyhodnotenie údajov musíme vypočítať priemernú dennú hodnotu.

Správnym nástrojom, ktorý syntetizuje naše údaje, je **kontingenčná tabuľka**, ktorý nájdeme na karte *Vložiť* (*Insert*) v skupine príkazov *Tabuľky* (*Tables*) (obr. 9.5).

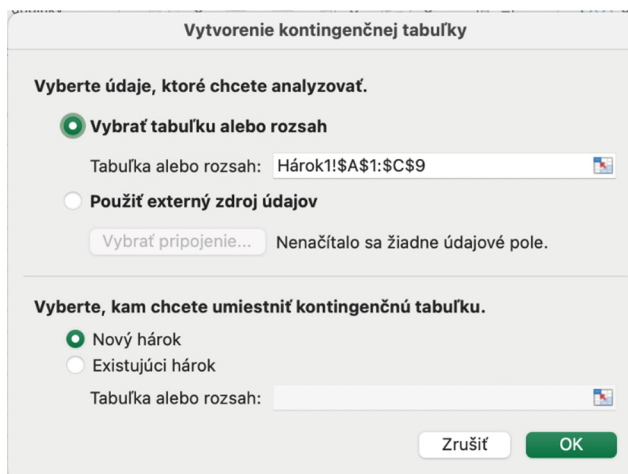


Obr. 9.5: Nástroj na syntézu kontingenčná tabuľka.

*Je veľmi dôležité, aby sme pred vložením kontingenčnej tabuľky do zošita vybrali bunku v rámci radu údajov (akúkoľvek bunku v tabuľke údajov)!*

Prvým krokom pri vytváraní novej kontingenčnej tabuľky je zadanie zdroja údajov tabuľky (v našom prípade) alebo rozsahu, z ktorého sa údaje získavajú, pomocou absolútneho adresovania.

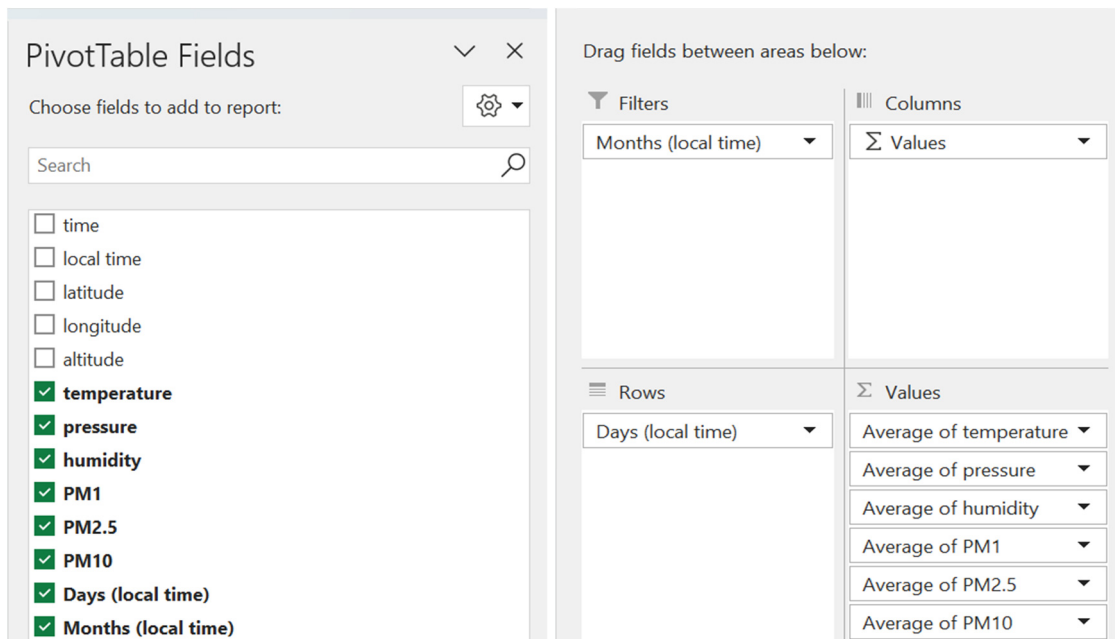
Môžeme si vybrať, kam chceme umiestniť kontingenčnú tabuľku, či ako *Nový hárok* alebo *Existujúci hárok* v zošite (obr. 9.6.).



Obr. 9.6: Výber zdroja údajov pre kontingenčnú tabuľku.

V rozhraní návrhu kontingenčnej tabuľky by mali byť polia zostavy pre našu analýzu špecifikované nasledovne (obr. 9.7):

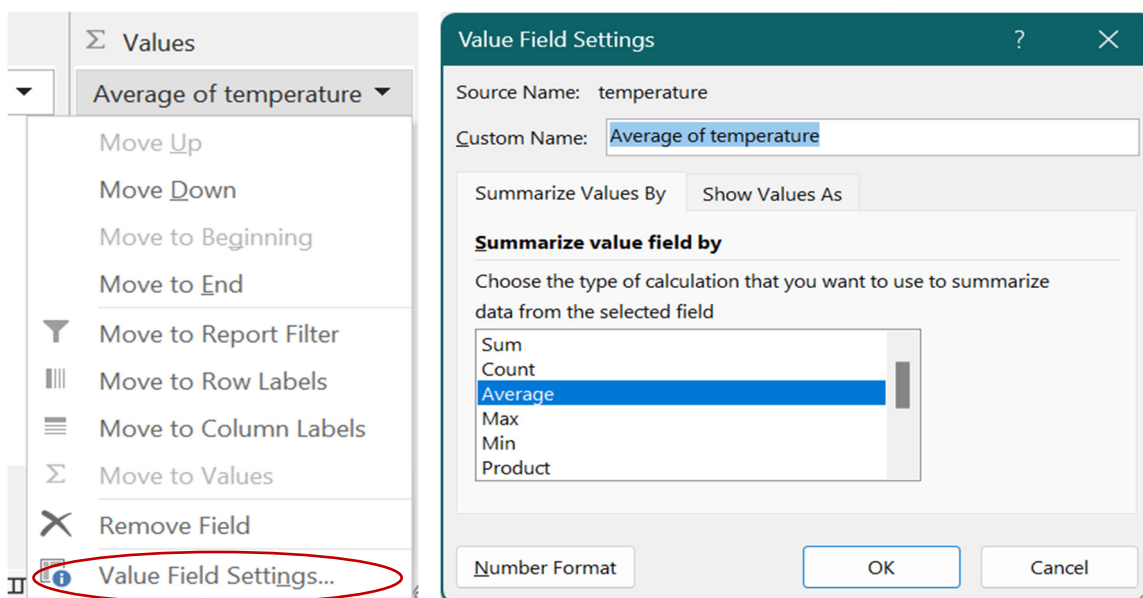
- filtre (Filters): Mesiace (miestny čas) (Months (local time)),
- riadky (Rows): Dni (od miestneho času) (Days (local time)),
- hodnoty (Values): Polia všetkých parametrov (teplota, tlak, vlhkosť, pevné častice 1, 2,5 a 10 µm) (temperature, pressure, humidity, PM1, PM2,5, PM10).



**Obr. 9.7:** Výber parametrov pre kontingenčnú tabuľku.

Pomocou týchto nastavení môžeme analyzovať naše dáta po dňoch (prípadne je možné analyzovať údaje po mesiacoch).

Pre každý parameter poľa *Values (Hodnoty)* musíme zadať ďalšie nastavenia (obr. 9.8), napríklad zmeniť pole *Summarize (Sumarizovať hodnotu)* nastavením na hodnotu *Average (Priemer)*, aby sme získali priemernú hodnotu pre každý deň (mesiac).



**Obr. 9.8:** Nastavenie výpočtu aritmetického priemeru pre hodnoty kontingenčnej tabuľky.

V prehľade kontingenčnej tabuľky (obr. 9.9) môžeme v prvom stĺpci pozorovať referenčný čas (deň) a potom priemerné hodnoty jednotlivých parametrov (teplota, tlak, vlhkosť a PM).

V prvom riadku zostavy môžeme filtrovať údaje podľa mesiacov alebo mesiace po jednom alebo vybrať viacero hodnôt zo zoznamu dostupných mesiacov.

	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

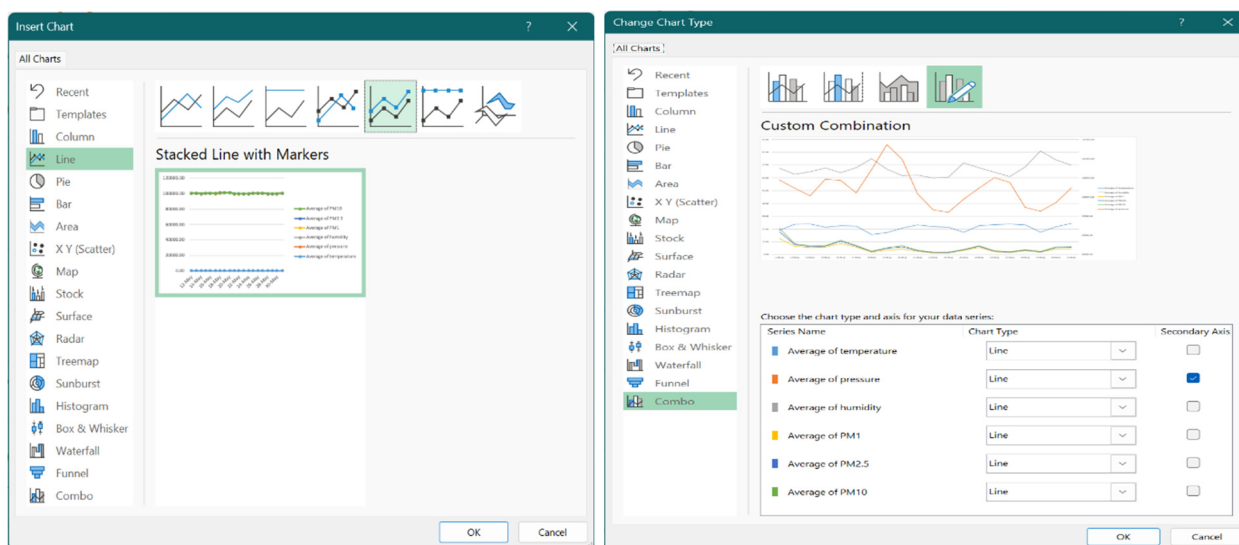
Obr. 9.9: Výstup kontingenčnej tabuľky.

### 9.1.4. Vytváranie grafov a interpretácia toku údajov

Dátové rady vytvorené v kontingenčnej tabuľke sú už syntetizované. Rozsiahle záznamy údajov sme zredukovali na časový rad s priemernými hodnotami vypočítanými pre každý parameter senzora. Napriek tomu je ťažké pozorovať a porovnávať odchýlky číselných hodnôt.

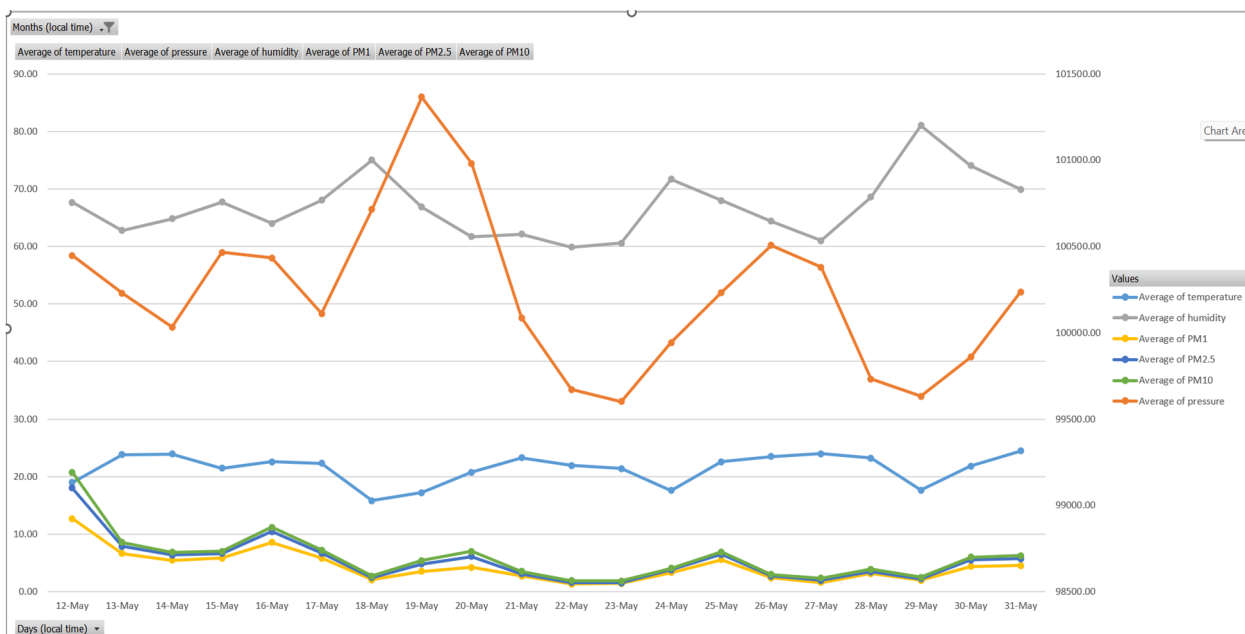
Riešením je vykresliť dátové rady, aby sme lepšie pochopili vývoj každého parametra v čase a mohli sme priblížiť primárnu koreláciu medzi našimi údajmi.

Zvolíme si čiarový typ grafu alebo čiarový so značkami (obr. 9.10) a potom použijeme graf kombinovaný so sekundárnou osou pre tlak, pretože hodnoty tlaku sú príliš veľké na to, aby sa dali zobrazíť na rovnakej osi s teplotou.



Obr. 9.10: Výber typu grafu pre údaje kontingenčnej tabuľky.

Získame tak graf na vykonanie korelačnej analýzy sledovaných parametrov. Zo štúdia grafu vyplýva synchronný vývoj údajov s koncentráciou PM častíc s rozmermi 1  $\mu\text{m}$ , 2,5  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ . Zároveň možno rozlíšiť priemerné korelácie medzi teplotou a súborom ukazovateľov pevných častíc, ako aj priemernú inverznú koreláciu medzi teplotou a vlhkosťou a slabú inverznú koreláciu medzi teplotou a tlakom.



Obr. 9.11: Úroveň korelácie pre každý parameter.

Porovnávacia analýza pomocou štúdia grafov je však len približná, preto je potrebné presne určiť úroveň korelácie a jej typ výpočtom korelačných koeficientov sledovaných parametrov.

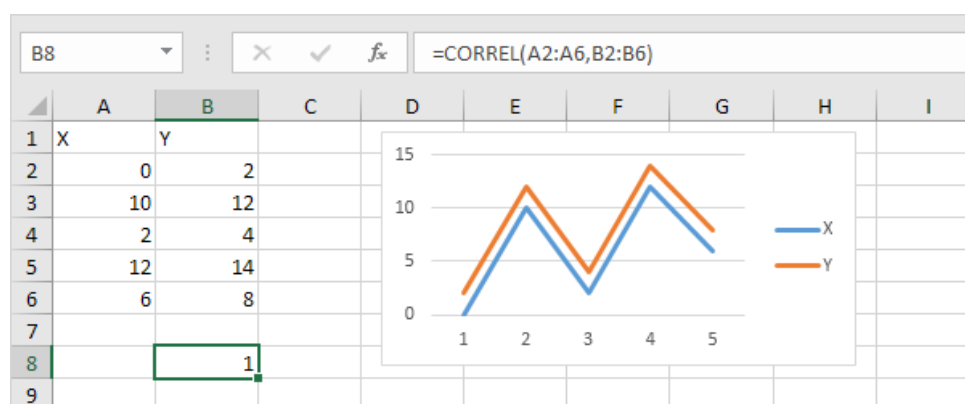
## 9.2. Korelačná analýza

### 9.2.1. Výpočet korelačných koeficientov pomocou nástroja Analytické nástroje

Korelačný koeficient hovorí o tom, ako silne spolu súvisia dve premenné, pričom môže nadobúdať hodnoty od -1 do +1.

Microsoft Excel dáva používateľom k dispozícii funkciu `CORREL()` alebo doplnok (add-in) *Analytické nástroje* na výpočet korelačného koeficientu medzi dvoma premennými.

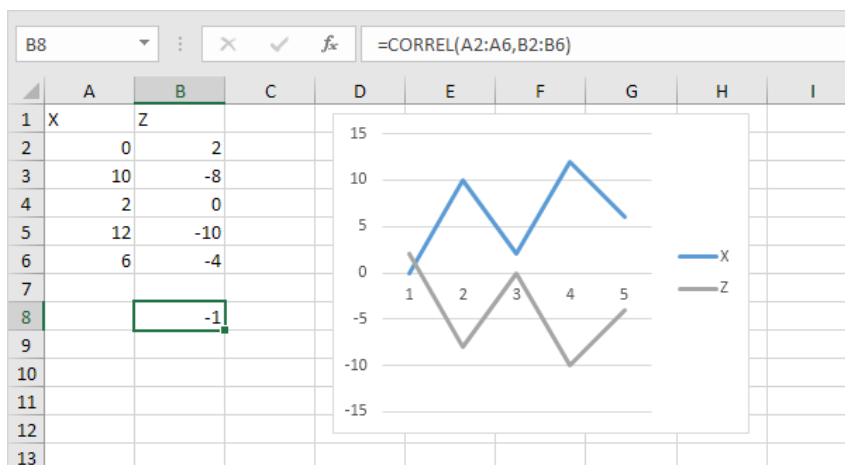
Korelačný koeficient s hodnotou +1 znamená **dokonalú pozitívnu koreláciu** (obr. 9.12). S nárastom premennej X sa zvyšuje aj premenná Y. Keď premenná X klesá, premenná Y klesá.



Obr. 9.12: Dokonalá pozitívna korelácia medzi premennými X a Y.

Korelačný koeficient s hodnotou -1 znamená **dokonalú negatívnu koreláciu** (obr. 9.13). S rastúcou premennou X klesá premenná Z. Keď sa premenná X znižuje, premenná Z sa zvyšuje.



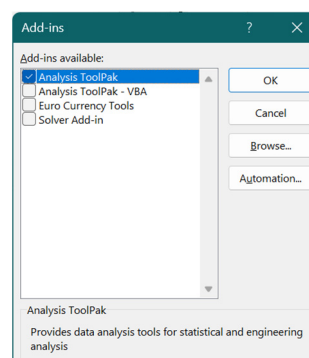


**Obr. 9.13:** Dokonalá negatívna korelácia medzi premennými X a Y.

Korelačný koeficient blízky 0 znamená, že neexistuje žiadna korelácia.

Nástroj na analýzu údajov *Analytické nástroje (Analysis ToolPak)* umožňuje rýchly výpočet korelačných koeficientov medzi viacerými premennými (obr. 9.14).

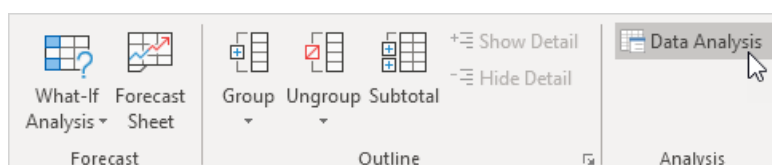
Funkciu *Analytické nástroje (Analysis ToolPak)* možno v programe Excel aktivovať pomocou nasledujúcich postupností príkazov: *Súbor – Možnosti – Doplnky (File – Options – Add-Ins)* Potom stlačíme tlačidlo *Prejsť (Go)...* a v zozname nástrojov povolíme *Analytické nástroje (Analysis Toolpak)* a potvrdíme tlačidlom OK.



**Obr. 9.14:** Výber nástroja *Analysis Toolpak*.

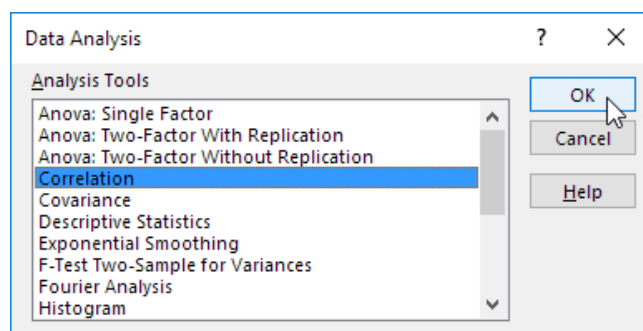
Je potrebné vykonať nasledujúce kroky:

1. Na karte *Údaje* (obr. 9.15), skupina príkazov *Analýza*, stlačíme tlačidlo *Analýza údajov (Data Analysis)*:



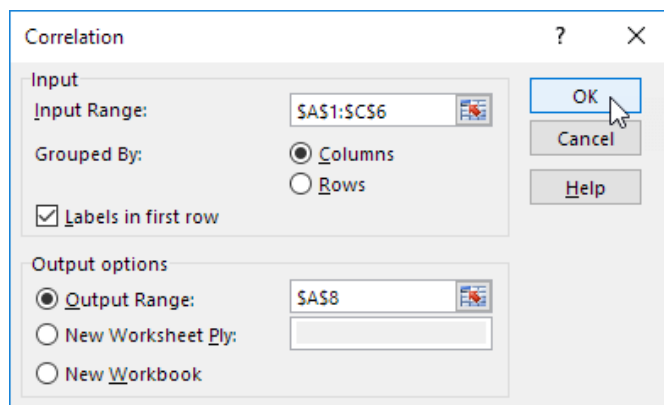
**Obr. 9.15:** Tlačidlo *Data Analysis* na karte *Údaje*.

2. V zobrazenom dialógovom okne *Data Analysis* (obr. 9.16) vyberieme zo zoznamu položku *Korelácia (Correlation)* a potvrdíme tlačidlom OK:



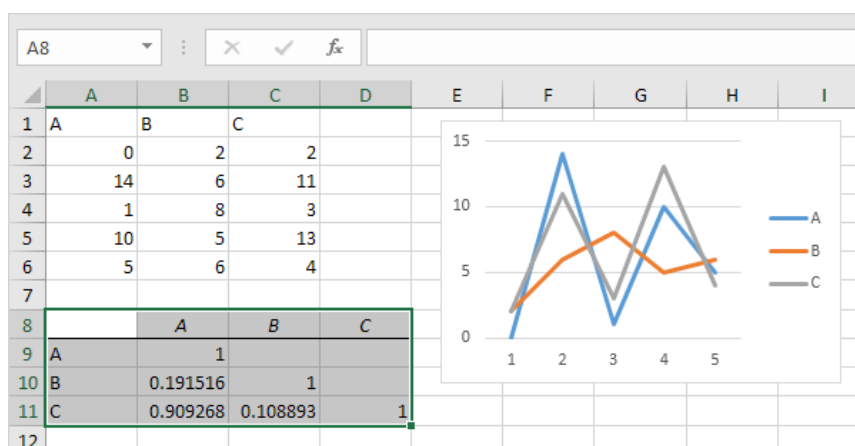
**Obr. 9.16:** Výber položky *Korelácia (Correlation)*.

3. V tomto príklade vyberieme rozsah A1:C6 ako vstupný rozsah.
4. Povolíme overovacie pole *Labels in the first row*.
5. Vyberieme bunku A8 ako miesto zobrazenia (*Output range*).
6. Potvrdíme tlačidlom OK (obr. 9.17).



**Obr. 9.17:** Nastavenie parametrov na určenie korelácií.

Zo získaných výsledkov (obr. 9.18) vidíme, že premenné A a C sú pozitívne korelované (0,91); premenné A a B sú slabšie korelované (0,19). Premenné B a C majú tiež nízku koreláciu (0,11). Tieto závery si môžeme overiť aj preštudovaním grafu.



**Obr. 9.18:** Analýza korelačných koeficientov medzi premennými A, B a C.

### 9.2.2. Korelačná analýza medzi parametrami CO<sub>2</sub>, hluk, CH<sub>2</sub>O a O<sub>3</sub>

V nasledujúcom texte sa budeme zaoberať korelačnou analýzou parametrov CO<sub>2</sub> (oxid uhličitý), hluk, CH<sub>2</sub>O (formaldehyd) a O<sub>3</sub> (ozón), pričom budeme postupovať podľa vyššie opísaných krokov – importujeme údaje zo súborov CSV, centralizujeme ich a syntetizujeme. Výsledky, získané pre tieto parametre, sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

**Tab. 9.1:** Korelácie medzi parametrami CO<sub>2</sub>, hluk, CH<sub>2</sub>O a O<sub>3</sub>.

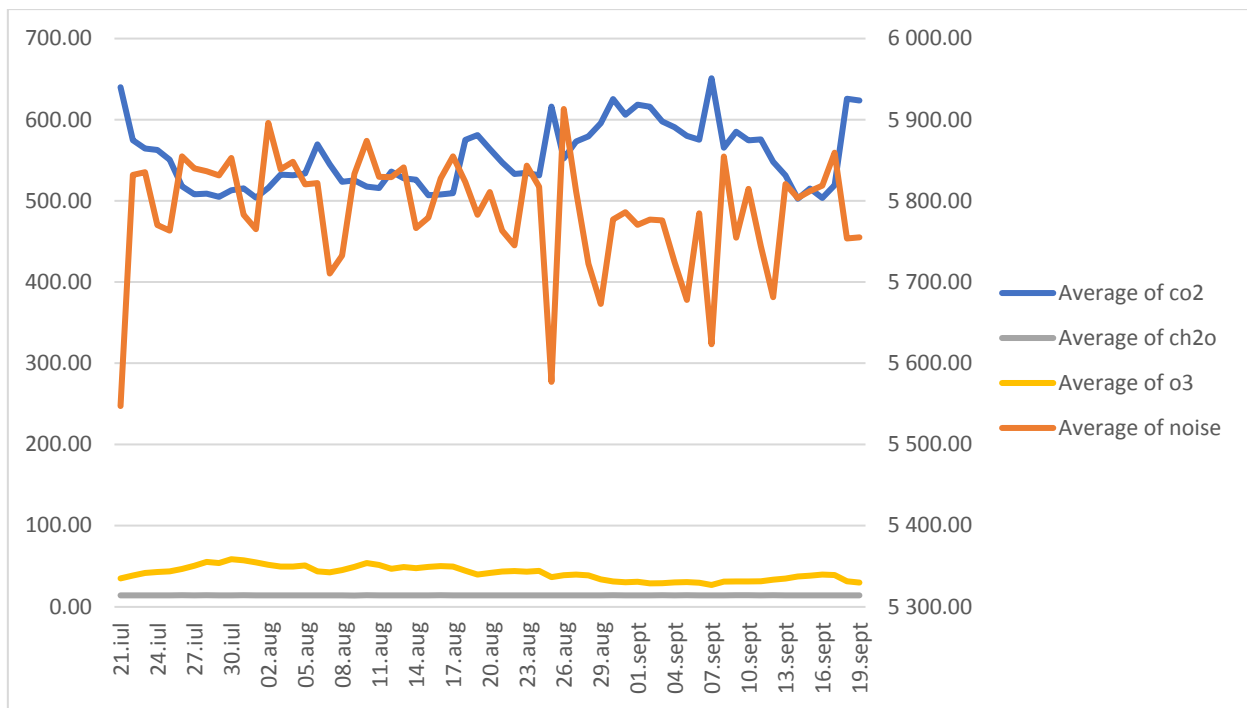
	Average of co2	Average of noise	Average of ch2o	Average of o3
Average of co2	1			
Average of noise	-0,602455913	1		
Average of ch2o	0,213288816	-0,149072181	1	
Average of o3	-0,792741937	0,475328544	-0,127393812	1

V skúmanom rozsahu údajov sa pozoruje negatívna korelácia (-0,602455913) medzi CO<sub>2</sub> a hlukom, slabá pozitívna korelácia (0,213288816) medzi CO<sub>2</sub> a CH<sub>2</sub>O a lepšia negatívna korelácia medzi CO<sub>2</sub> a O<sub>3</sub> (-0,792741937).

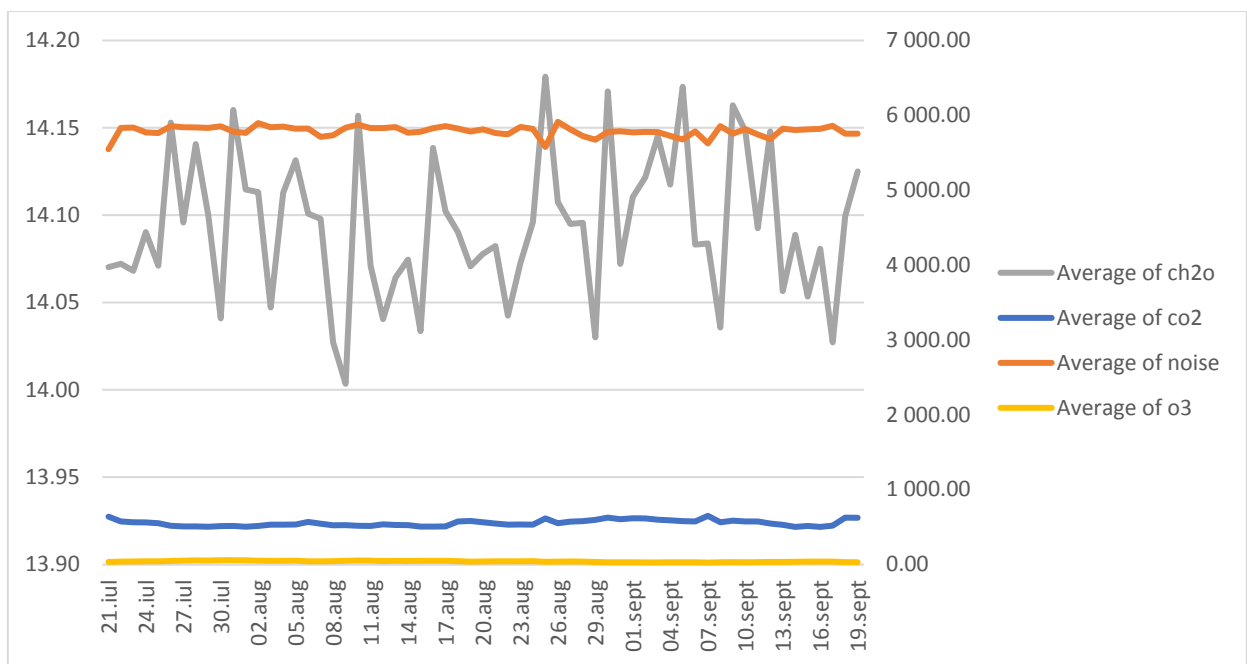
Zároveň je vidieť slabú negatívnu koreláciu (-0,149072181) medzi hlukom a CH<sub>2</sub>O a strednú pozitívnu koreláciu (0,475328544) medzi hlukom a O<sub>3</sub>.

Parameter CH<sub>2</sub>O je v slabej negatívnej korelácii (-0,127393812) s parametrom O<sub>3</sub>.

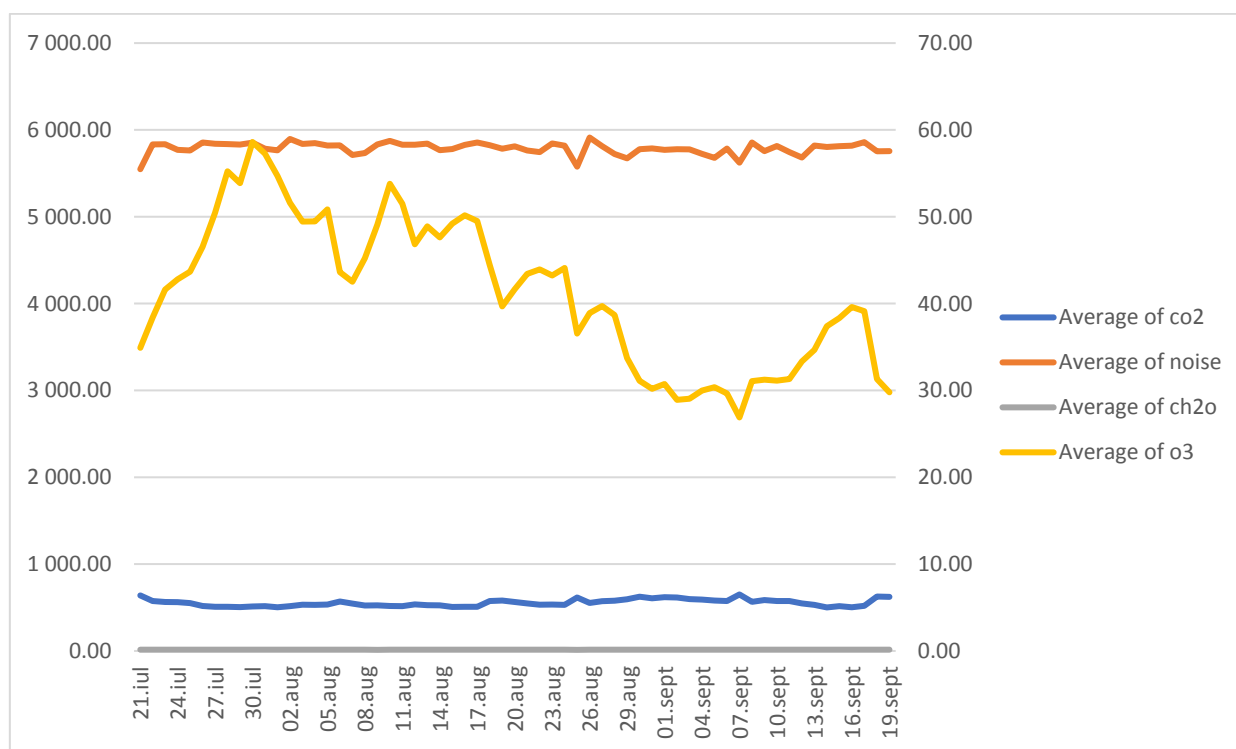
Korelačné diagramy medzi parametrami CO<sub>2</sub>, hluk, CH<sub>2</sub>O a O<sub>3</sub> sú znázornené na obr. 9.19 až 9.22.



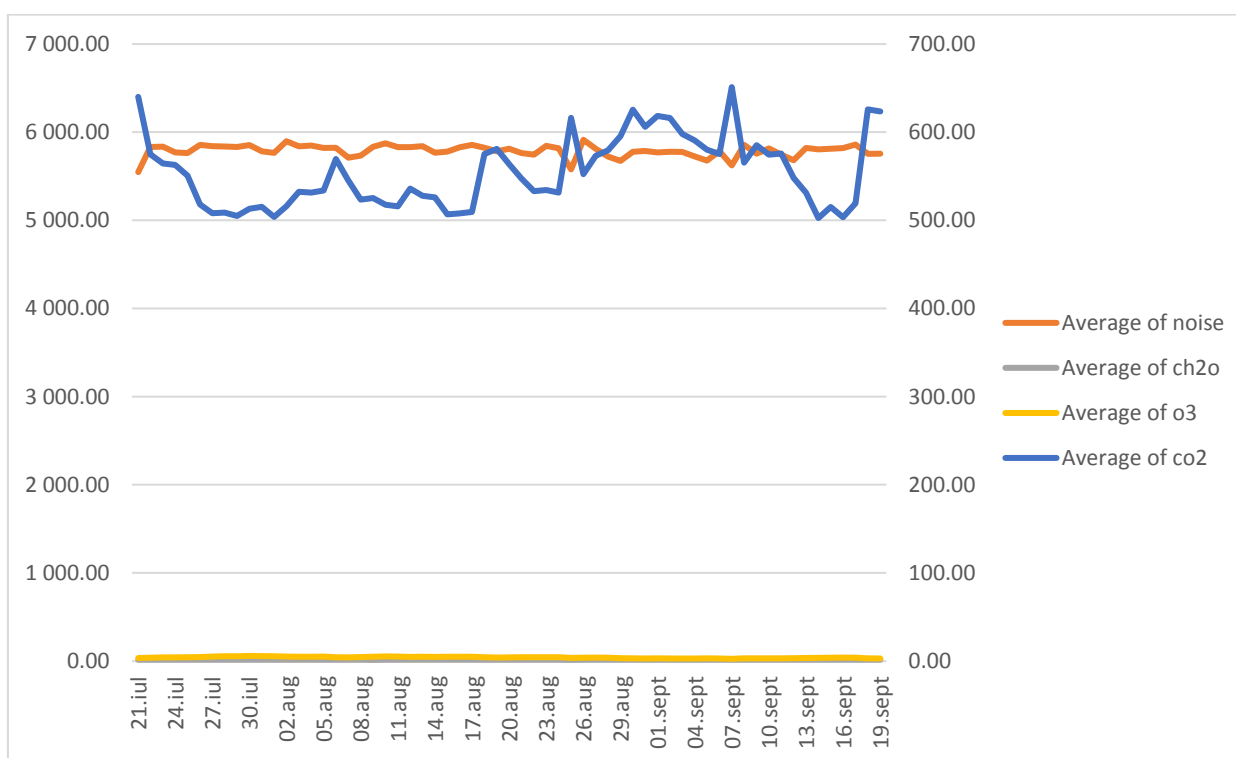
Obr. 9.19: Korelačný graf CO<sub>2</sub> – hluk.



Obr. 9.20: Korelačný graf hluk – CH<sub>2</sub>O.

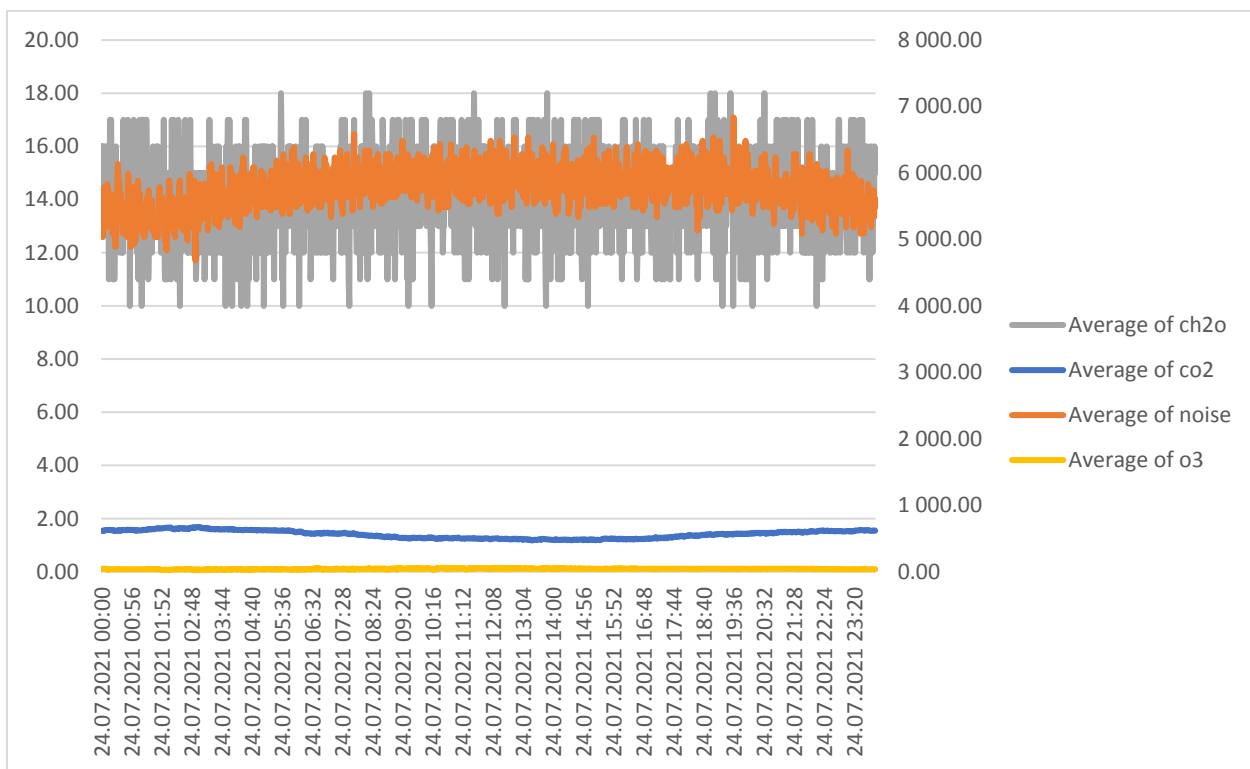


**Obr. 9.21:** Korelačný graf hluk – O<sub>3</sub>.

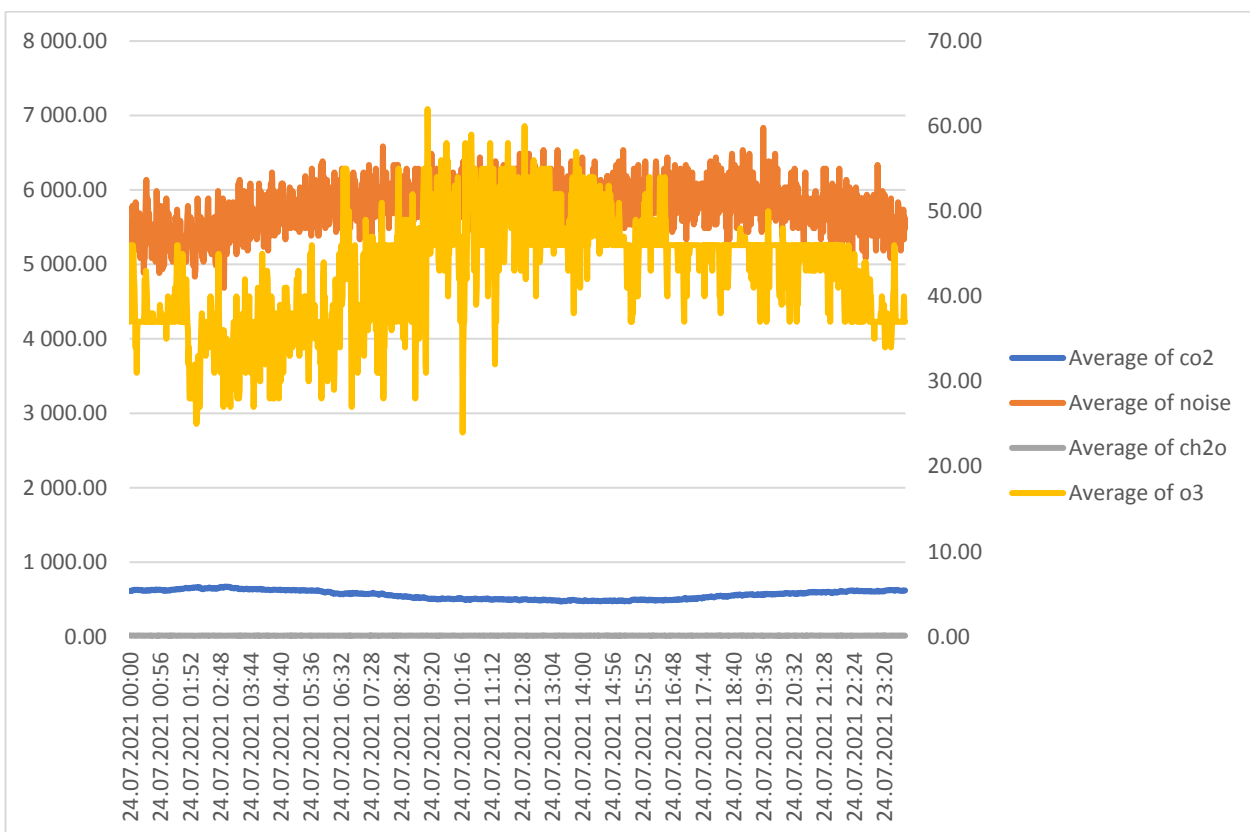


**Obr. 9.22:** Korelačný graf hluk – CO<sub>2</sub>.

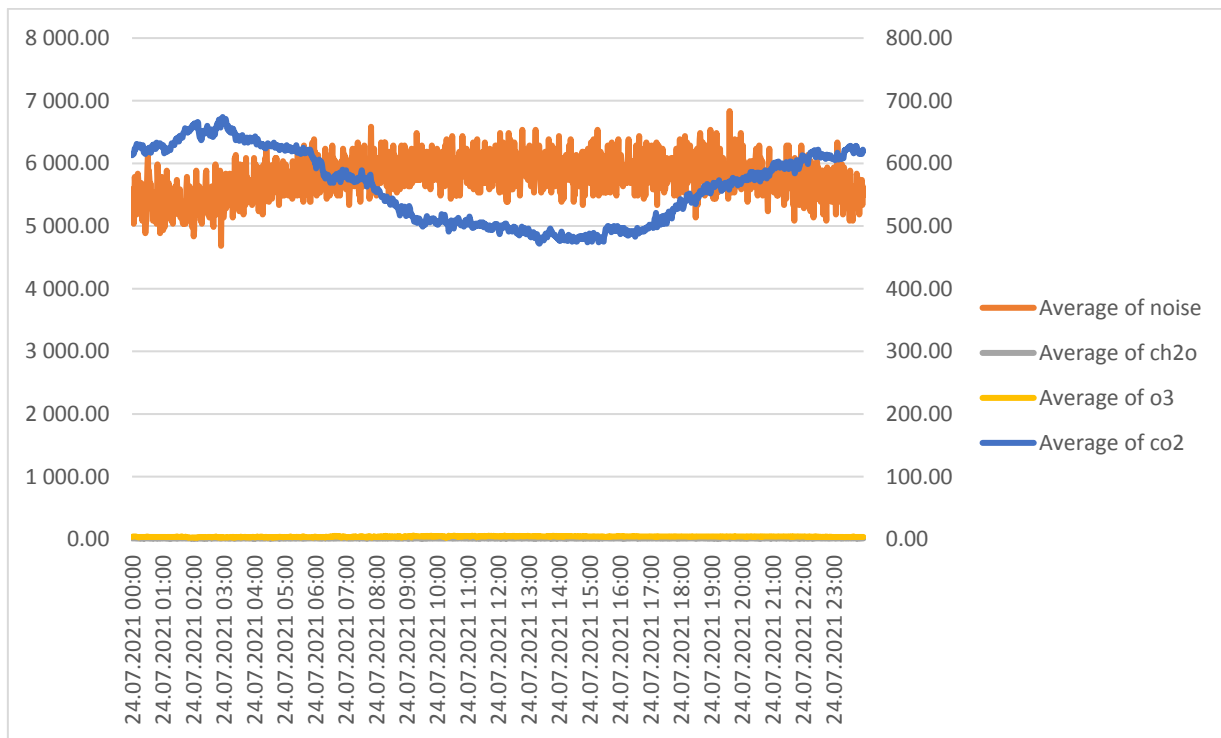
Zvyšovaním stupňa granularity údajov sme získali nasledujúce korelačné diagramy medzi parametrami CH<sub>2</sub>O a hlukom, medzi O<sub>3</sub> a hlukom a medzi CO<sub>2</sub> a hlukom (obr. 9.23 až 9.25):



Obr. 9.23: Korelačný diagram CH<sub>2</sub>O a hluku s vyššou granularitou.



Obr. 9.24: Korelačný diagram vyššej granularity O<sub>3</sub> a hluku.

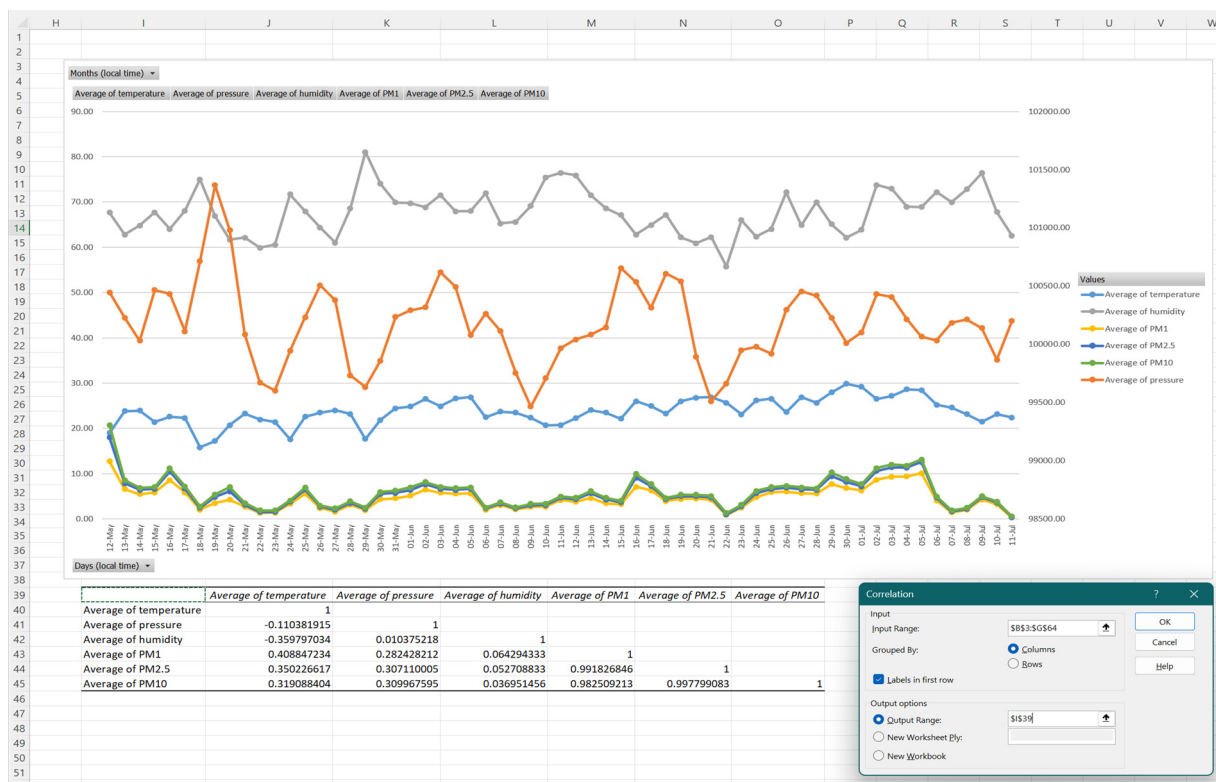


Obr. 9.25: Korelačný diagram CO<sub>2</sub> a hluku s vyššou granularitou.

### 9.3. Úlohy

Pomocou nástroja *Analytické nástroje (Analysis ToolPak)* vykonajte korelačnú analýzu medzi teplotou, tlakom, vlhkosťou a úrovňami PM1, PM2,5 a PM10.

Výsledok by sa mal zobrazíť v nasledujúcom tvare (obr. 9.26):



Obr. 9.26: Korelačná analýza teploty, tlaku, vlhkosti a úrovni častíc PM1, PM2,5 a PM10.

# 10. KAPITOLA. ŠTATISTICKÁ ANALÝZA ÚDAJOV Z MONITOVACEJ STANICE KVALITY OVZDUŠIA: PRÍPAD ADANA

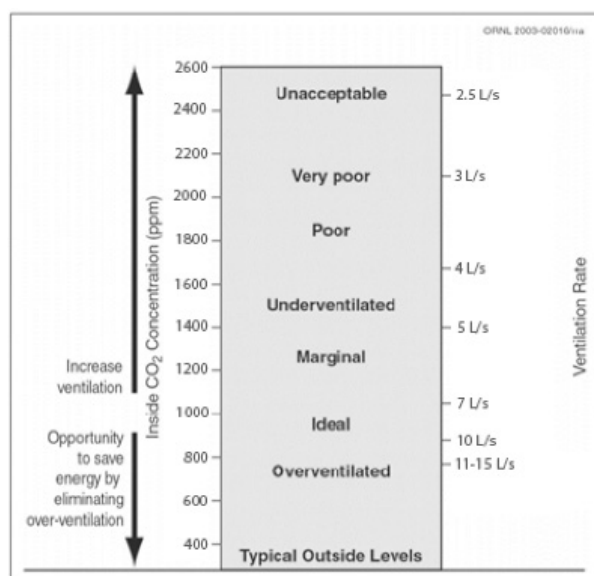
*Autorom kapitoly je Tuğçe Pekdoğan  
z Univerzity vedy a techniky Alparslan Türkeş, Adana, Turecko*

## 10.1. Trochu teórie na úvod

### 10.1.1. Opis znečistenia vonkajšieho ovzdušia

Znečistenie vonkajšieho ovzdušia je závažným problémom, ktorý ovplyvňuje zdravie ľudí na celom svete. Zdroje znečistenia vonkajšieho ovzdušia sú rôzne. Medzi prírodné zdroje znečistenia vonkajšieho ovzdušia patrí prach, peľ, lesné požiare atď. Medzi umelé zdroje znečistenia vonkajšieho ovzdušia patria emisie z elektrární, tovární, dopravy a stavebných činností.

Znečistenie vonkajšieho ovzdušia často vážne ovplyvňuje kvalitu ovzdušia v mestských oblastiach. Vysoké hladiny znečisťujúcich látok, ako sú tuhé častice, oxidy dusíka, oxid siričitý a oxid uhoľnatý, môžu významne ovplyvniť ľudské zdravie. Tieto znečisťujúce látky môžu spôsobiť ochorenia dýchacích ciest, kardiovaskulárne problémy, poruchy a iné zdravotné komplikácie.



**Obr. 10.1:** Vzťah medzi koncentráciou CO<sub>2</sub> a rýchlosťou ventilácie (prepočítané na jednotky SI) [4].

Množstvo CO<sub>2</sub> v atmosfére je približne 0,03 %. Environmentálne faktory odhadujú, že množstvo CO<sub>2</sub> vo vonkajšom ovzduší je 300 až 500 ppm [1]. Vdychovaním a následným vydechovaním vzduchu ľudia uvoľňujú CO<sub>2</sub>. Rýchlosť ľudského metabolizmu, ovplyvnená veľkosťou a úrovňou fyzickej aktivity, určuje, ako rýchlo sa CO<sub>2</sub> v tele produkuje [2]. Hoci kvalitu vnútorného vzduchu v budovách môže ovplyvniť znečistenie vonkajšieho ovzdušia, niektoré ďalšie faktory nepriaznivo ovplyvňujú vnútorné prostredie a zdravie obyvateľov budov. Optimálne koncentrácie oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) pre kvalitu vnútorného vzduchu sa v jednotlivých krajinách líšia, pričom všeobecne sa akceptuje predpokladaná úroveň 1 000 ppm. Technológie na snímanie CO<sub>2</sub> sa často používajú spolu s vetracími systémami na udržiavanie zdravého vnútorného prostredia. Vzťah medzi úrovňou CO<sub>2</sub> a vetraním je znázornený na obr. 10.1;

predpokladá sa, že aplikácia riadenia podľa potreby na základe koncentrácie oxidu uhličitého môže ušetriť energiu presnejším splnením požiadaviek na prívod vzduchu do budov [3]. Koncentrácie CO<sub>2</sub> v rozmedzí od 400 do 500 ppm sú vhodné pre vonkajšie prostredie. Na zabezpečenie dobrého prietoku čerstvého vzduchu stačí rýchlosť vetrania približne 7 l/s, aj keď je hladina CO<sub>2</sub> vo vonkajšom prostredí 700 ppm. Podľa Americkej spoločnosti inžinierov pre vykurovanie, chladenie a klimatizáciu je odporúčaná rýchlosť vetrania na osobu v norme ASHRAE 62.1 7 až 10 l/s [1].

V rôznych krajinách sveta boli stanovené maximálne limity CO<sub>2</sub> pre znečisťujúce látky súvisiace s kvalitou vnútorného ovzdušia. Prípustné limity koncentrácie CO<sub>2</sub> stanovené ASHRAE a rôznymi medzinárodnými vládami [5] a normalizačnými agentúrami sú porovnané v tab. 10.1.

**Tab. 10.1:** Limity vystavenia sa CO<sub>2</sub> pri práci pre vybrané krajiny [3].

Krajina	Inštitúcia/Štandard	Maximálne množstvo
USA	ASHRAE 62.1-2013, Príloha C.	700 ppm nad vonkajšími úrovňami
	Úrad pre bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci (OSHA).	5,000 ppm
Austrália	Bezpečná práca v Austrálii; Normy pre vystavenie kontaminantom prenášaným vzduchom na pracovisku (2011).	5,000 ppm
Kanada	Federálno-provinčný poradný výbor pre ochranu životného prostredia a zdravia pri práci.	3,500 ppm
Nemecko	DIN 1946-6 DIN 1946-2.	1,000 ppm (odporúčané) a 1,500 ppm (maximálny limit)
Japonsko	Japonská spoločnosť pre zdravie pri práci (2004).	1,500 ppm
Švédsko	Limitné hodnoty vystavenia pri práci, AFS 2011:18.	5,000 ppm
Veľká Británia	Komisia pre bezpečnosť a ochranu zdravia	5,000 ppm
	Spojené kráľovstvo. Stavebný bulletin 101.	1,500 ppm

Pevné častice alebo zjednodušene PM je označenie pre malé častice v ovzduší, ktoré pochádzajú z rôznych zdrojov vrátane dopravy, priemyslu a prírodných zdrojov, ako sú prach a lesné požiare. PM pozostávajú z častíc s priemerom 10 µm alebo menším (PM<sub>10</sub>), 2,5 µm alebo menším (PM<sub>2,5</sub>) a 1 µm (PM<sub>1</sub>). Koncentrácie PM vo vonkajšom ovzduší sa zvyčajne merajú pomocou zariadenia na monitorovanie častíc. Tento prístroj používa filter, ktorý zachytáva a váži častice vo vzduchu, a údaje sa vyjadrujú ako mikrogramy PM na meter kubický vzduchu (µg/m<sup>3</sup>).

Maximálne hodnoty úrovne PM sa v jednotlivých krajinách líšia. Napriek tomu Svetová zdravotnícka organizácia odporúča, aby úroveň PM<sub>2,5</sub> neprekročila 10 mikrogramov na meter kubický vzduchu v priemere za rok a 25 mikrogramov na meter kubický vzduchu v priemere za deň [6]. Podľa národných noriem kvality okolitého ovzdušia (NAAQS) pre PM Agentúra na ochranu životného prostredia Spojených štátov amerických stanovuje pre PM<sub>2,5</sub> ročnú normu 10 µg/m<sup>3</sup> až 12 µg/m<sup>3</sup> a dennú normu 35 µg/m<sup>3</sup>.

### 10.1.2. Požiadavky na znečistenie vonkajšieho ovzdušia

Organizácie predložili niekoľko predpisov a noriem na prevenciu znečistenia vonkajšieho ovzdušia. Tieto požiadavky pomáhajú chrániť verejné zdravie a životné prostredie. Celkovo môžu tieto transparentné, verejne dostupné normy a predpisy pomôcť zabezpečiť, aby vzduch, ktorý dýchame, bol bezpečný a zdravý pre každého.



V tab. 10.2 sú uvedené roky 1990 až 2019, ktoré sa pripisujú znečisteniu vonkajšieho ovzdušia z okolitých častíc a ozónu ako rizikovému faktoru. Podľa tabuľky je vidieť, že úmrtnosť v dôsledku znečistenia ovzdušia sa od roku 1990 celosvetovo zvýšila. Je vidieť, že táto miera je vysoká najmä v ázijských krajinách. V Nepále, Jemene a Bangladéši je miera úmrtnosti v dôsledku znečistenia ovzdušia pomerne vysoká.

V európskych krajinách je vidieť, že miera úmrtnosti v dôsledku znečistenia ovzdušia sa vo všeobecnosti znížila, ale stále ide o významný problém. Hlavnou príčinou tejto situácie sú faktory ako úroveň rozvoja, technologická infraštruktúra a politiky šetrné k životnému prostrediu. Napríklad v krajinách ako Švédsko a Fínsko je miera úmrtnosti v dôsledku znečistenia ovzdušia nižšia ako v iných európskych krajinách. Zavedenie politik šetrných k životnému prostrediu a rozvoj technologickej infraštruktúry v týchto krajinách boli účinné.

V niektorých vyspelých krajinách však stále dochádza k výraznému nárastu úmrtnosti v dôsledku znečistenia ovzdušia. Napríklad v krajinách ako USA a Nemecko je miera úmrtnosti v dôsledku znečistenia ovzdušia stále vysoká. V tomto prípade je v týchto krajinách obzvlášť dôležité zavádzať politiky šetrné k životnému prostrediu a technologický rozvoj.

**Tab. 10.2:** Úmrtnosť v dôsledku znečistenia ovzdušia vo svete v rokoch 1990-2019 [7].

Krajina	1990	2019	Relatívny posun
Fínsko	2.67%	0.73%	-73
Švédsko	2.86%	0.81%	-72
Estónsko	3.54%	1.01%	-71
Nórsko	3.70%	1.10%	-70
Škótsko	4.39%	1.31%	-70
Írsko	4.81%	1.68%	-65
Veľká Británia	6.41%	2.41%	-62
Švajčiarsko	5.87%	2.34%	-60
Dánsko	6.18%	2.61%	-58
USA	4.81%	2.01%	-58
Nemecko	6.88%	3.05%	-56
Luxembursko	5.37%	2.47%	-54
Holandsko	6.80%	3.15%	-54
Kanada	3.19%	1.50%	-53
Island	1.85%	0.90%	-51
Litva	6.38%	3.13%	-51
Belgicko	6.68%	3.33%	-50
Rakúsko	6.28%	3.23%	-49
Francúzsko	4.53%	2.41%	-47
Portugalsko	3.79%	1.99%	-47
Austrália	1.99%	1.10%	-45
Rusko	7.22%	3.99%	-45
Nový Zéland	1.70%	0.96%	-44
Česko	9.82%	5.58%	-43
Taliano	7.58%	4.29%	-43
Slovinsko	7.16%	4.19%	-41
Slovensko	10.34%	6.27%	-39
Španielsko	4.33%	2.68%	-38
Malta	6.64%	4.20%	-37
Malajzia	9.31%	6.08%	-35
Ukraina	8.85%	5.81%	-34

Krajina	1990	2019	Relatívny posun
Grécko	7.35%	4.89%	-33
Izrael	7.71%	5.17%	-33
Chorvátsko	8.50%	5.98%	-30
Singapúr	8.34%	5.82%	-30
Bulharsko	10.05%	7.13%	-29
Poľsko	9.60%	6.78%	-29
Maďarsko	7.73%	5.57%	-28
Grónsko	1.95%	1.45%	-26
Rumunsko	7.36%	5.43%	-26
Cyprus	6.69%	5.08%	-24
Moldavsko	6.56%	5.06%	-23
Bahamy	4.52%	3.63%	-20
Montenegro	10.01%	7.99%	-20
Argentína	4.52%	3.73%	-17
Japonsko	3.70%	3.07%	-17
Kuba	6.59%	5.54%	-16
Mexiko	6.18%	5.34%	-14
Panenské ostrovy	2.62%	2.29%	-13
Katar	17.05%	15.14%	-11
Bahrain	16.42%	14.86%	-10
Srbsko	9.50%	8.58%	-10
Južná Kórea	7.91%	7.12%	-10
Severné Macedónsko	11.55%	10.68%	-8
Spojené Arabské Emiráty	13.61%	12.56%	-8
Gruzínsko	6.88%	6.45%	-6
Jordánsko	10.45%	9.86%	-6
Brazília	3.47%	3.31%	-5
Panama	3.58%	3.41%	-5
Čile	5.17%	5.15%	0
Monako	3.09%	3.13%	1
Taiwan	6.10%	6.37%	4
Albánsko	6.17%	6.52%	6
Síria	11.04%	11.65%	6
Venezuela	6.18%	6.65%	8
Kolumbia	4.86%	5.35%	10
Turkmenistan	9.78%	10.87%	11
Kostarika	3.54%	3.97%	12
Južná Afrika	4.85%	5.42%	12
Kazachstan	6.70%	7.70%	15
Turecko	8.29%	9.51%	15
Arménsko	9.67%	11.22%	16
Thajsko	5.46%	6.51%	19
Egypt	13.04%	15.70%	20
Irán	9.10%	11.11%	22
Peru	4.83%	5.94%	23
Dominikánska republika	3.50%	4.33%	24
Alžírsko	8.65%	10.77%	25
Paraguaj	2.64%	3.33%	26
Libanon	7.75%	9.87%	27

Krajina	1990	2019	Relatívny posun
Kirgizstan	6.45%	8.39%	30
Irak	11.48%	15.01%	31
Bosna a Hercegovina	7.19%	9.47%	32
Líbya	8.23%	11.09%	35
Filipíny	3.56%	5.08%	43
Azerbajdžan	6.91%	10.06%	46
<b>SVET</b>	<b>5.31%</b>	<b>7.80%</b>	<b>47</b>
Uzbekistan	8.66%	12.99%	50
Papua Nová Guinea	1.27%	1.94%	53
Jamajka	3.13%	5.00%	60
Čína	8.52%	13.74%	61
Maldivy	2.46%	4.08%	66
Srí Lanka	3.14%	5.38%	71
Severná Korea	5.95%	10.53%	77
Palestína	6.31%	11.45%	81
Nigéria	1.14%	2.08%	82
Indonézia	3.13%	6.11%	95
Saudská Arábia	7.45%	14.85%	99
Senegal	1.97%	4.23%	115
Afghanistan	1.99%	4.31%	117
Keňa	1.04%	2.36%	127
Guinea-Bissau	1.37%	3.14%	129
Fidži	1.82%	4.20%	131
Vietnam	2.55%	6.06%	138
Ghana	3.02%	7.22%	139
Mali	0.86%	2.06%	140
Madagaskar	0.70%	1.72%	146
Maroko	4.76%	11.75%	147
Kambodža	1.37%	3.45%	152
Dominikánska Republika	2.16%	5.46%	153
Mjanmarsko	2.51%	6.38%	154
Nigéria	2.07%	5.40%	161
Laos	1.37%	3.59%	162
India	4.74%	12.57%	165
Pakistan	3.46%	9.42%	172
Zambia	1.11%	3.03%	173
Mozambik	0.35%	0.96%	174
Kongo	2.22%	6.11%	175
Tanzánia	0.72%	2.07%	187
Nepal	4.18%	13.43%	221
Džibutsko	2.15%	6.97%	224
Bangladéš	2.78%	9.89%	256
Etiópia	0.59%	2.12%	259
Jemen	2.14%	8.00%	274
Bhutan	2.14%	8.34%	290
Uganda	0.60%	2.51%	318
Sudán	2.24%	9.75%	335

Požiadavky na kvalitu vonkajšieho ovzdušia sa v jednotlivých krajinách líšia a zvyčajne vychádzajú z nameraných znečisťujúcich látok. Každá krajina si stanovila svoje limity a normy pre kvalitu vonkajšieho ovzdušia. Je vidieť, že rôzne krajiny majú rôzne limity pre látky znečisťujúce ovzdušie v závislosti od ich geografickej polohy, topografie, podnebia a hospodárskych činností. Normy podľa vybraných krajín sú uvedené nižšie.

#### **USA:**

Národné normy kvality okolitého ovzdušia (NAAQS) [8] Agentúry Spojených štátov pre ochranu životného prostredia (EPA) stanovujú normy pre šesť bežných látok znečisťujúcich vonkajšie ovzdušie vrátane PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, ozónu a olova.

- ozón: 70 častíc na miliardu (ppb) nad 8-hodinový priemer,
- jemné prachové častice (PM<sub>2,5</sub>): 12 µg/m<sup>3</sup> nad ročný priemer,
- oxid uhoľnatý (CO): 9 ppm v 8-hodinovom priemere,
- oxid siričitý (SO<sub>2</sub>): 75 ppb v 1-hodinovom priemere,
- Oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>): 53 ppb nad ročným priemerom.

#### **Európska únia:**

Európska únia vypracovala normy kvality okolitého ovzdušia – Kvalita okolitého ovzdušia a čistejšie ovzdušie pre Európu, smernica 2008/50/ES [9], ktoré sú záväzné pre všetky členské štáty. Cieľom týchto limitných hodnôt je zabezpečiť dobrú kvalitu ovzdušia a chrániť ľudské zdravie. Medzi hlavné merané znečisťujúce látky patria PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> a benzén.

- Ozón: 120 µg/m<sup>3</sup> počas maximálne 8 hodín,
- jemné prachové častice (PM<sub>2,5</sub>): 25 µg/m<sup>3</sup>, nad ročným priemerom,
- oxid uhoľnatý (CO): 10 ppm nad 8-hodinovým priemerom,
- oxid siričitý (SO<sub>2</sub>): 350 µg/m<sup>3</sup> za 24 hodín,
- oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>): 40 µg/m<sup>3</sup> nad ročným priemerom.

#### **Čína:**

Podľa noriem kvality okolitého ovzdušia (národná norma GB 3095-2012) [10] Čína stanovila limity pre látky znečisťujúce vonkajšie ovzdušie vrátane PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> a CO.

- Ozón: 160 µg/m<sup>3</sup> v 8-hodinovom priemere,
- jemné prachové častice (PM<sub>2,5</sub>): (PM<sub>2</sub>): 35 µg/m<sup>3</sup> nad ročným priemerom,
- oxid uhoľnatý (CO): 20 ppm v 8-hodinovom priemere,
- oxid siričitý (SO<sub>2</sub>): 150 µg/m<sup>3</sup> za 24 hodín,
- oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>): 40 µg/m<sup>3</sup> nad ročným priemerom.

#### **India:**

Ústredný úrad pre kontrolu znečistenia (CPCB) [11] stanovuje normy kvality ovzdušia v Indii spolu s regulačnými orgánmi Ústredným úradom pre kontrolu znečistenia (CPCB), Ministerstvom životného prostredia a lesov (MoEF) a Úradom pre indické normy (BIS). CPCB stanovil limity pre PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> a olovo.

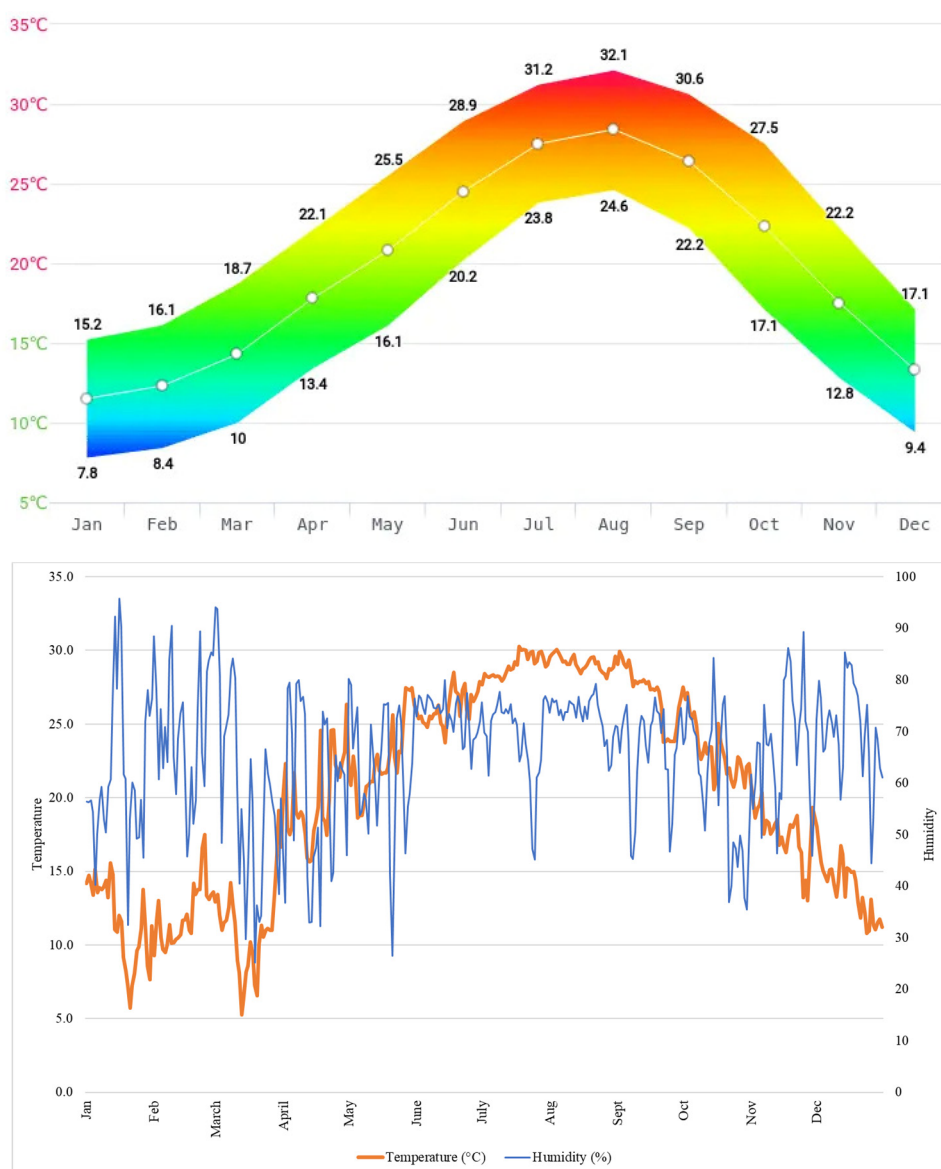
- Ozón: 100 µg/m<sup>3</sup> v 8-hodinovom priemere,
- jemné prachové častice (PM<sub>2,5</sub>): 40 µg/m<sup>3</sup> nad ročný priemer,
- oxid uhoľnatý (CO): V porovnaní s 8-hodinovým priemerom je hodnota oxidu uhličitého vyššia o 4 ppm,
- oxid siričitý (SO<sub>2</sub>): 80 µg/m<sup>3</sup> za 24 hodín,
- oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>): 80 µg/m<sup>3</sup> nad ročným priemerom.

Tieto limity a normy sa môžu líšiť v závislosti od regiónu alebo mesta v každej krajine. Cieľom požiadaviek na kvalitu vonkajšieho ovzdušia je ochrana verejného zdravia a životného prostredia.

## 10.2. Príklad práce so súborom údajov

### 10.2.1. Klimatické podmienky

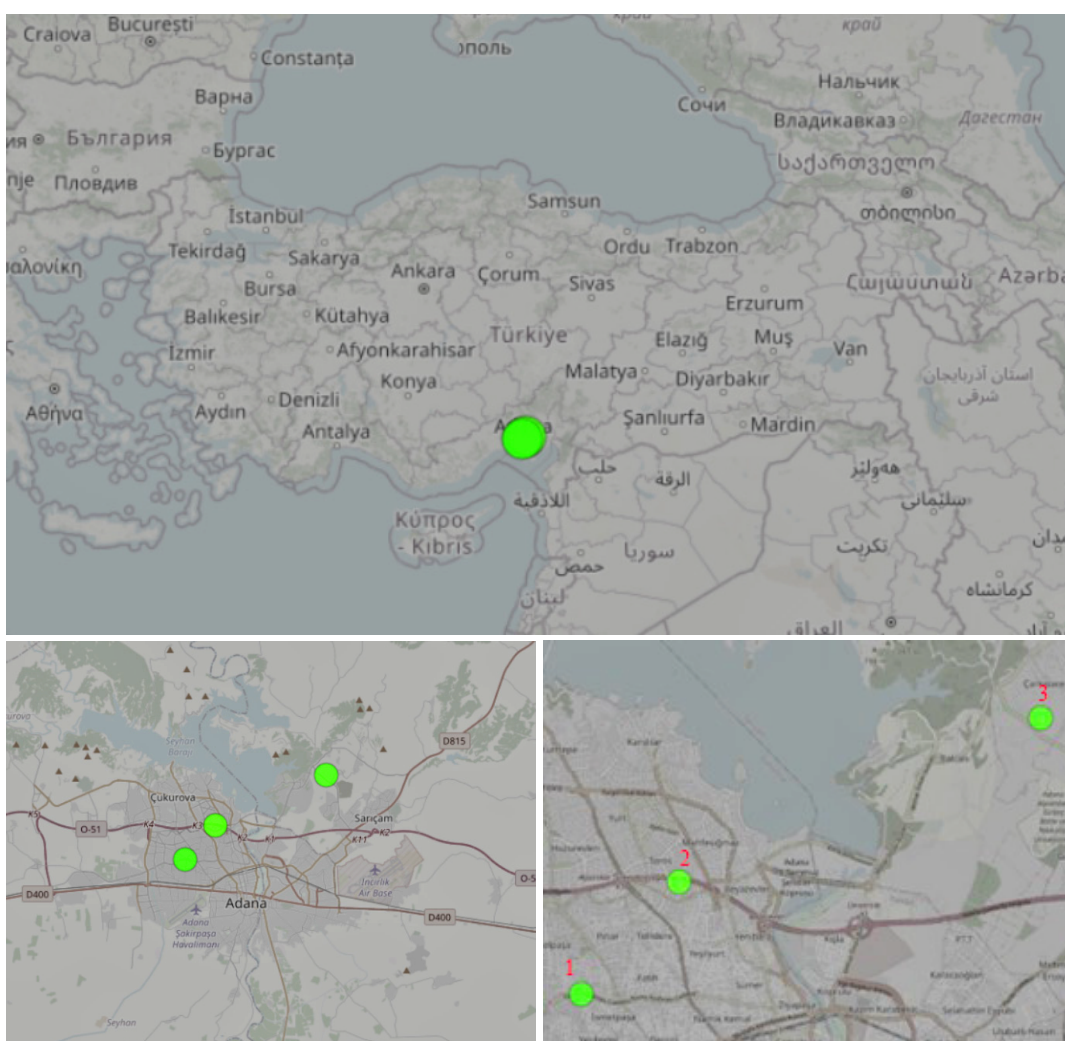
Senzory v Adane majú stredomorské podnebie klasifikované podľa systému Köppenovej klasifikácie podnebia. V regióne sa vyskytujú dlhé, horúce letá a krátke, mierne zimy. Priemerná teplota suchého teplomera v Adane sa počas roka pohybuje od 18,1 °C do 28,7 °C (obr. 10.2). V lete teploty zvyčajne vrcholia koncom júla a v auguste, pričom denné teploty presahujú 35 °C. Na druhej strane, zimné teploty sa zvyčajne pohybujú okolo 10 °C až 15 °C. Priemerná mesačná relatívna vlhkosť vzduchu v Adane sa zvyčajne pohybuje od 49 % v auguste do 81 % v januári. Znečistenie ovzdušia je bežným problémom v husto obývaných oblastiach. V oblasti je veľa letných dní, mierne znečistené ovzdušie a relatívne nízka vlhkosť.



Obr. 10.2: Priemerné mesačné teploty v Adane, Turecko.

## 10.2.2. Umiestnenie senzorov

Nasledujúce obrázky ukazujú geografické umiestnenie troch senzorov na meranie znečistenia ovzdušia v meste Adana, ktoré sa nachádza v juhovýchodnej časti Turecka a je známe svojimi rušnými ulicami a priemyselnými aktivitami (obr. 10.3). Tieto inovatívne vedecké zariadenia sú vyzbrojené najmodernejšou technológiou plug-and-play, špeciálne navrhnutou na meranie atmosférických častíc PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub> a na monitorovanie oxidu uhličitého, teploty a vlhkosti vzduchu. Cieľom týchto moderných staníc na monitorovanie kvality ovzdušia je poskytovať prakticky okamžité, presné a spoľahlivé údaje o kvalite ovzdušia v meste, pričom fungujú bez problémov vďaka inštalácii pripojenia Wi-Fi. Prvý snímač označený ako 20FDDC62 (1) sa nachádza na 37,011° zemepisnej šírky a 35,280° zemepisnej dĺžky, v oblasti Yuregir. Sensor s kódom 20FD2908 (2) sa nachádza v byte nad 37,032° zemepisnej šírky a 35,302° zemepisnej dĺžky v oblasti Karaisali v meste Adana. Posledný snímač s kódom 20FD51B8 (3), umiestnený na 37,061° zemepisnej šírky a 35,384° zemepisnej dĺžky, sa nachádza v regióne Seyhan.



Obr. 10.3: Umiestnenie senzorov na meranie znečistenia ovzdušia.

### 10.2.3. Zber údajov

Na merania bol použitý uRADMonitor (Urban Network of Air Quality Devices). URADMonitor je prenosné zariadenie na monitorovanie kvality ovzdušia, určené na meranie úrovne znečistenia ovzdušia v mestských oblastiach. Je to malý senzor umiestnený v krabičke, ktorý sa montuje na stenu alebo sa umiestňuje na rovný povrch. Sensory, ktoré sa nachádzajú v Adane, sú umiestnené na balkónoch niektorých bytov na rôznych miestach a vykonávajú sa na nich merania. Identifikované mestské oblasti zahŕňajú obchodné, obytné a pracovné oblasti a každá z nich má inú hustotu obyvateľstva, a teda aj znečistenie životného prostredia.

Používanie senzorov je veľmi jednoduché. Najzákladnejšou požiadavkou na používanie senzora je jeho pripojenie k sieti Wi-Fi. Takto zariadenie zhromažďuje údaje o kvalite ovzdušia a odosiela ich do cloudu, ku ktorému možno pristupovať prostredníctvom mobilnej aplikácie alebo webového ovládacieho panela.

Zariadenie využíva na zber údajov kombináciu senzorov. Obsahuje senzor pevných častíc (PM), senzor oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), senzor teploty a senzor vlhkosti. Tieto senzory sú určené na zisťovanie a meranie úrovne rôznych látok znečisťujúcich ovzdušie v prostredí.

URADMonitor sa skladá z niekoľkých komponentov: senzor znečistenia ovzdušia, senzorov, mikroprocesora, modulu Wi-Fi a zdroja napájania. Prenos údajov zo senzorov prebieha v 3 fázach. Sensory zbierajú údaje o hladinách znečisťujúcich látok v ovzduší a tieto údaje potom spracúva mikroprocesor a odosiela ich do cloudu prostredníctvom modulu Wi-Fi.

Na obr. 10.4 až 10.6 nižšie sú zobrazené údaje zo senzorov 1, 2 a 3. V rámci projektu *World Air Quality Index* (Svetový index kvality ovzdušia) bola vytvorená webová stránka, na ktorej je možné získať prístup k výsledkom meraní znečistenia ovzdušia na celom svete. Táto webová stránka má celosvetovo dostupné rozhranie na okamžité získanie hodnôt kvality ovzdušia. Vytvára graf odo dňa začiatku merania a prezentuje výsledky. Tu uvedené grafy boli získané z tejto webovej stránky. Adana má celkovo 11 senzorov, z toho uRADMonitor poskytuje tri, ktoré zhotovili študenti počas letnej školy.

Jednotlivé úrovne indexu kvality ovzdušia (AQI) sú znázornené farebne a opísané v tab. 10.3. Hodnota označená tmavozelenou farbou je v rozmedzí 0-50 a kvalita ovzdušia je definovaná ako dobrá. Stredná hodnota medzi 51-100 a kvalita ovzdušia je prijateľná. Na druhej strane, hodnota 101-150 sa označuje ako nepriaznivá pre citlivé skupiny a hodnota 151-200 ako nepriaznivá pre zdravie. V rozmedzí 201-300 je určená ako veľmi nezdravá a prejavujú sa účinky na zdravie. Ak je úroveň znečistenia ovzdušia na úrovni 300 a viac, ide o nebezpečnú úroveň. Táto stupnica bola určená podľa normy US-EPA 2016 a definície hodnôt nameraných tromi senzormi sú taktiež uvedené v tab. 10.3 [12].

Tab. 10.3: Stupnica indexu kvality ovzdušia a farebná legenda [12].

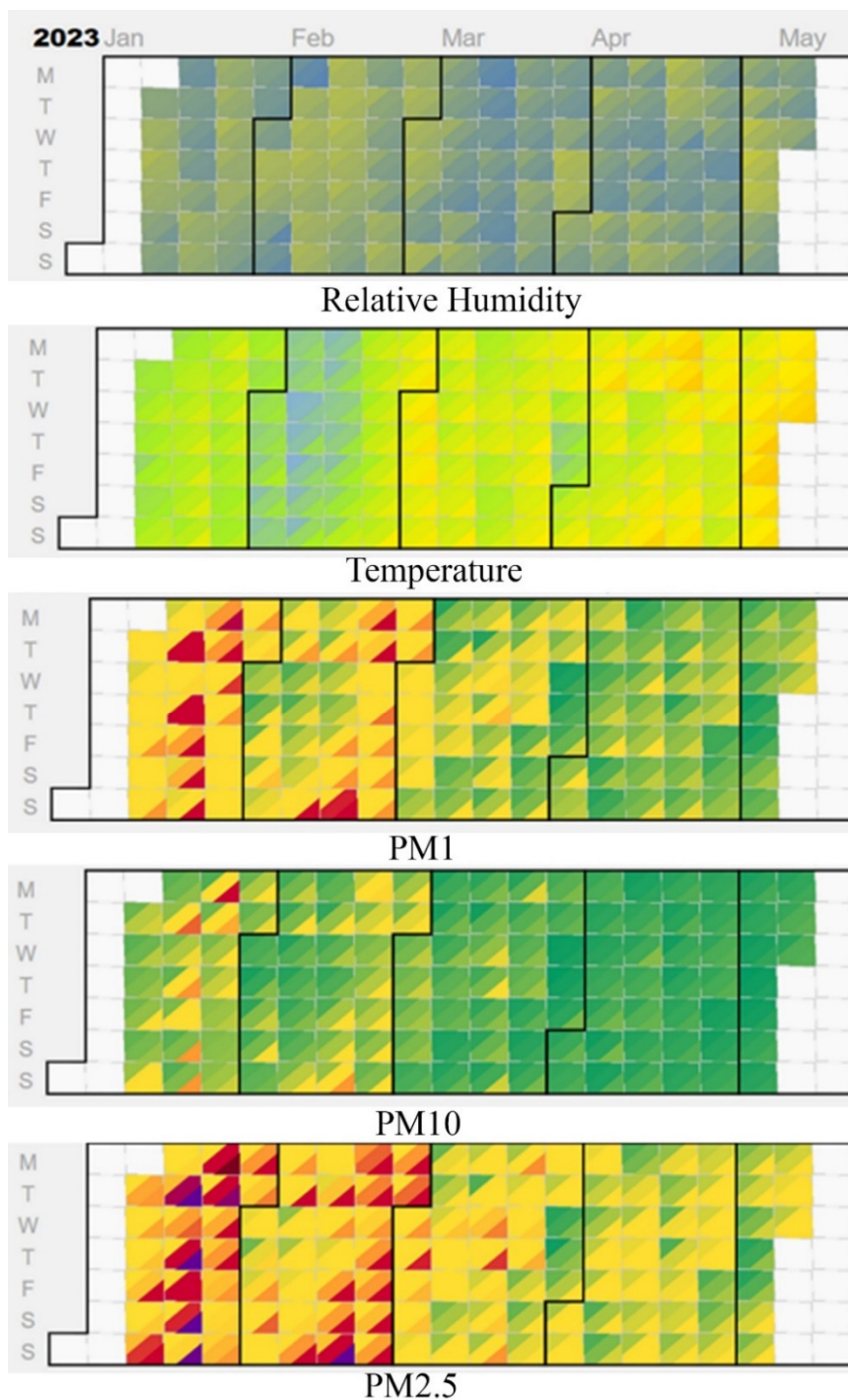
AQI	Úroveň znečistenia ovzdušia	Zdravotné dôsledky	Výstražné vyhlásenie (pre PM <sub>2,5</sub> )
0 – 50	Dobrá	Kvalita ovzdušia sa považuje za uspokojivú a znečistenie ovzdušia predstavuje malé alebo žiadne riziko	žiadne
51 – 100	Prijateľná	Kvalita ovzdušia je prijateľná, avšak v prípade niektorých znečisťujúcich látok môže dôjsť k miernemu ohrozeniu zdravia veľmi malého počtu ľudí, ktorí sú neobvykle citliví na znečistenie ovzdušia.	Aktívne deti, dospelí a ľudia s respiračnými ochoreniami, ako je astma, by mali obmedziť dlhodobú námahu vonku.

101 – 150	Nepriaznivá pre citlivé skupiny	U členov citlivých skupín sa môžu vyskytnúť účinky na zdravie. Verejnosť pravdepodobne nebude ovplyvnená.	Aktívne deti, dospelí a ľudia s respiračnými ochoreniami, ako je astma, by mali obmedziť dlhodobú námahu vonku.
151 – 200	Nepriaznivá pre zdravie	Každý môže začať pociťovať účinky na zdravie; členovia citlivých skupín môžu pociťovať vážnejšie účinky na zdravie.	Aktívne deti a dospelí a ľudia s respiračnými ochoreniami, ako je astma, by sa mali vyhýbať dlhobodnej námahe vonku; všetci ostatní, najmä deti, by mali obmedziť dlhodobú námahu vonku.
201 – 300	Veľmi nezdravá	Zdravotné upozornenia na núdzové stavy. Je pravdepodobnejšie, že bude zasiahnutá celá populácia.	Aktívne deti, dospelí a ľudia s respiračnými ochoreniami, ako je astma, by sa mali vyhýbať akejkoľvek námahe vonku; všetci ostatní, najmä deti, by mali námahu vonku obmedziť.
300+	Nebezpečná	Zdravotné upozornenie: u každého sa môžu vyskytnúť vážnejšie zdravotné účinky.	Každý by sa mal vyhýbať akejkoľvek námahe vonku.

Senzor 1 vykonával merania 122 dní a merania pokračujú. Priemerná hodnota relatívnej vlhkosti bola 55,87 % za 122 dní, pričom minimálna hodnota je 43,67 % a maximálna 67,47 %. Meranie sa začalo v Adane v zimných mesiacoch, takže priemerná teplota je 14,21 °C, minimálna teplota je 9,9 °C a maximálna 19,2 °C. Pri hodnotách PM1 je najvyššia hodnota v tomto regióne 39,4 µg/m<sup>3</sup>, zatiaľ čo najnižšia hodnota PM1 je 3,3 µg/m<sup>3</sup>. Priemerná hodnota je 12,45 µg/m<sup>3</sup>. Priemerná hodnota PM10 je 22,7 µg/m<sup>3</sup>, ale v niektorých dňoch dosahuje veľmi vysoké hodnoty s maximom až 85,2 µg/m<sup>3</sup> a minimom 6,25 µg/m<sup>3</sup>. Zatiaľ čo hodnota PM2,5 je v priemere dobrá, maximum je 75 µg/m<sup>3</sup>, čo sa radí do kategórie prijateľná úroveň. Najnižšia hodnota PM2,5 dosahuje 5,6 µg/m<sup>3</sup>.

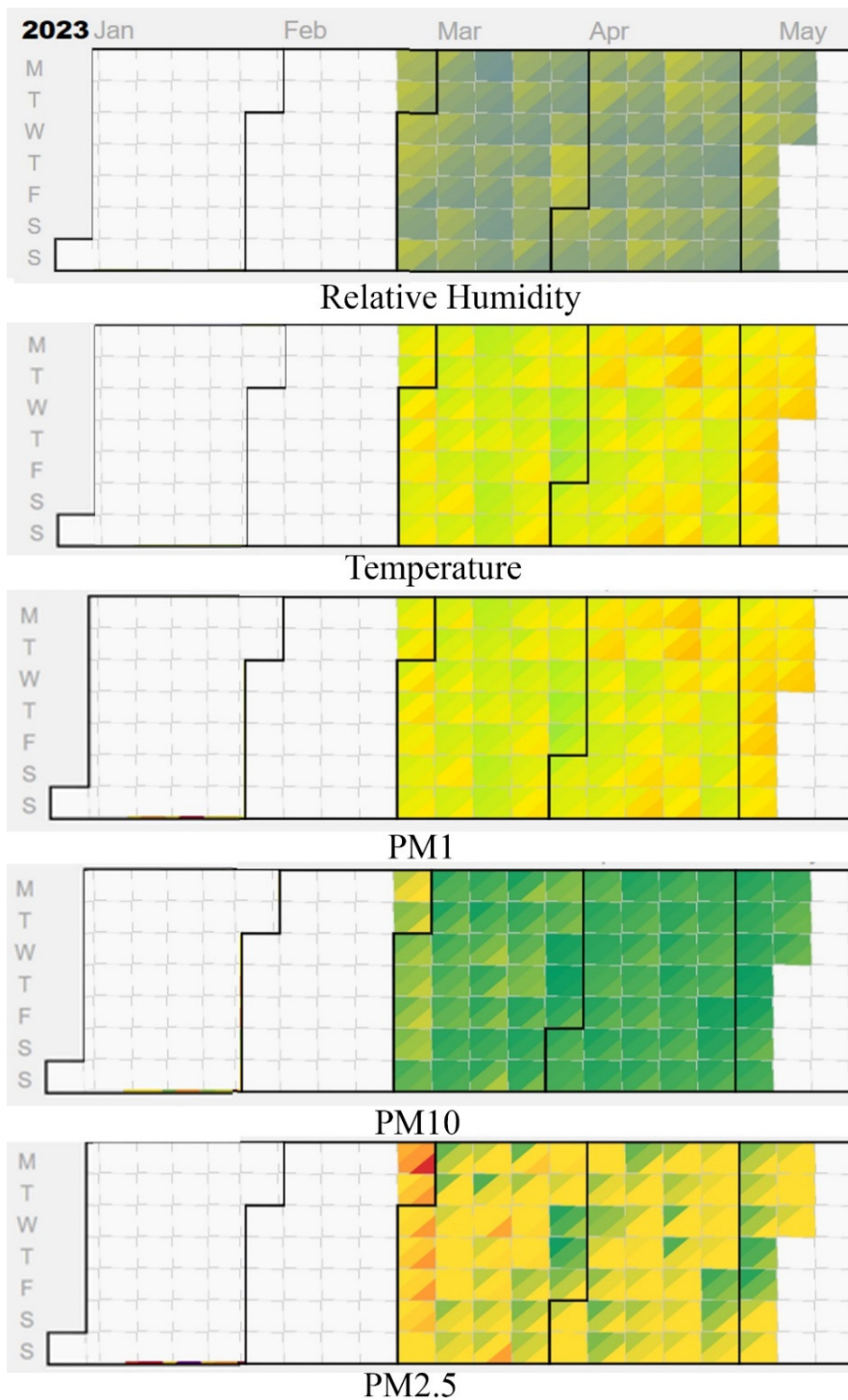
Senzor 2 meral 73 dní a merania pokračujú. Nameraná priemerná hodnota relatívnej vlhkosti je 47,26 % za 73 dní, pričom minimálna hodnota je 36,1 % a maximálna 57,30 %. Priemerná teplota je 17,6 °C, minimálna teplota je 13,3 °C a maximálna 21,2 °C za 73 dní merania. Pri hodnotách PM1 je najvyššia hodnota v tomto regióne 52,1 µg/m<sup>3</sup>, zatiaľ čo najnižšia hodnota PM1 je v priemere 3,5 µg/m<sup>3</sup>. Priemerná hodnota je 14,61 µg/m<sup>3</sup>. Priemerná hodnota PM10 je 25,8 µg/m<sup>3</sup>, ale v niektorých dňoch dosahuje veľmi vysoké hodnoty, pričom maximum je 88,1 µg/m<sup>3</sup> a minimum 6,75 µg/m<sup>3</sup>. Hodnota PM2,5 je v priemere dobrá, maximum je 36,5 µg/m<sup>3</sup>, najnižšia hodnota je 4,02 µg/m<sup>3</sup>.



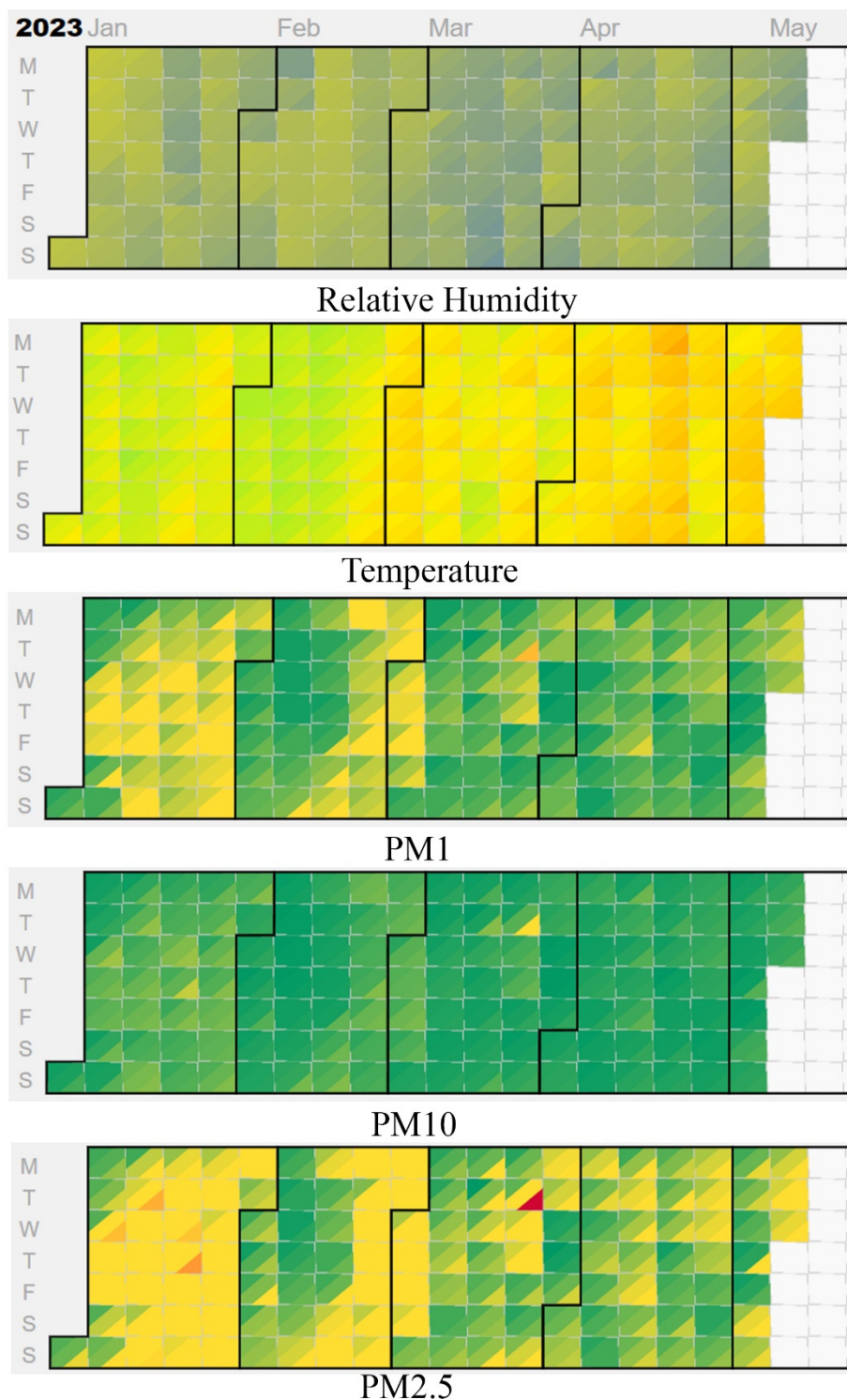


**Obr. 10.4:** Výsledky merania senzora 1 za 122 dní  
(relative humidity = relatívna vlhkosť, temperature = teplota).

Podľa výsledkov senzora 3, ktorý vykonával merania počas 134 dní, je priemerná hodnota relatívnej vlhkosti za celú dobu merania 52,70 %, minimálna hodnota je 39,35 % a maximálna hodnota je 46,14 %. Priemerná teplota je 18,9 °C, minimálna 15,3 °C a maximálna 24,4 °C. Pri hodnotách PM1 je najvyššia hodnota v tomto regióne 15,6 µg/m<sup>3</sup>, zatiaľ čo najnižšia hodnota PM1 je v priemere 1,8 µg/m<sup>3</sup>. Priemerná hodnota je 5,7 µg/m<sup>3</sup>. Hodnota PM10 je v priemere 10,42 µg/m<sup>3</sup>, pričom minimálna hodnota je 3,5 µg/m<sup>3</sup> a maximálna 29,6 µg/m<sup>3</sup>. Hodnota PM2,5 je v priemere na dobrej úrovni, maximálna hodnota je 26,02 µg/m<sup>3</sup>, najnižšia hodnota dosiahla 3,3 µg/m<sup>3</sup>.



**Obr. 10.5:** Výsledky merania senzora 2 za 73 dní  
(relative humidity = relatívna vlhkosť, temperature = teplota).



**Obr. 10.6:** Výsledky merania senzora 3 za 134 dní  
(relative humidity = relatívna vlhkosť, temperature = teplota).

### 10.3. Analýza údajov

SPSS je štatistický program používaný v akademickom výskume a priemyselnej analýze údajov. SPSS možno použiť pri zbere, analýze, vizualizácii a vykazovaní údajov. Tento program podporuje aj metódy dolovania údajov, ako sú zhluková alebo klastrová analýza, klasifikácia, regresia a konsolidačná analýza.

Výsledky analýzy budú zdieľané prostredníctvom spracovania údajov v programe SPSS. Ukážeme tak, ako sa dajú získané údaje analyzovať pomocou štatistického programu SPSS a aké analýzy sa dajú vykonať.

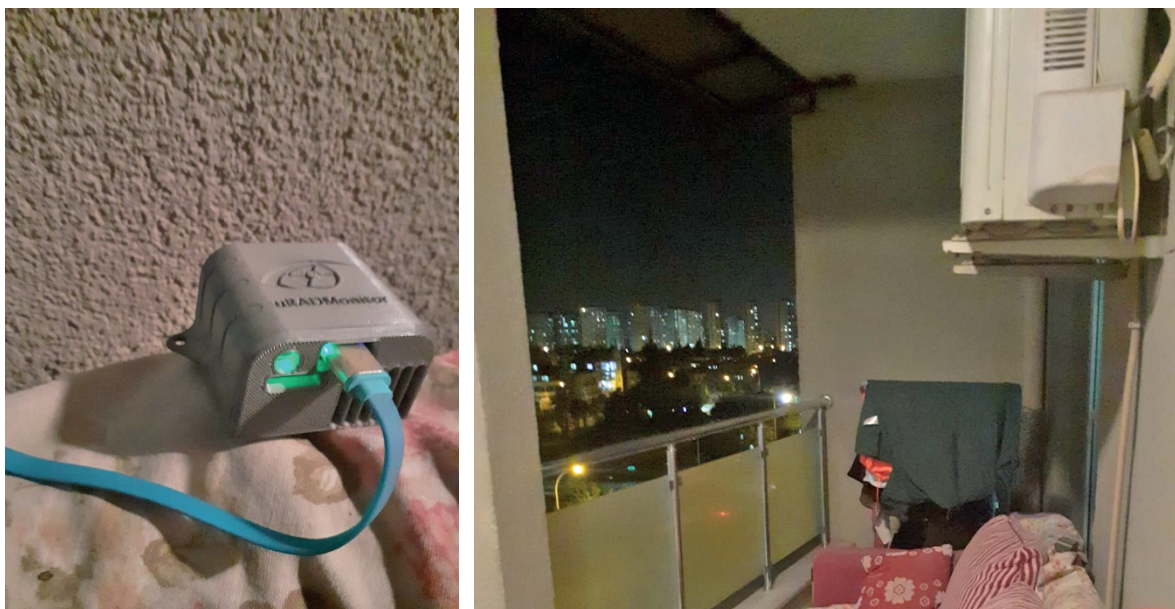
V nasledujúcom texte vysvetlíme, ako používať softvér SPSS krok za krokom. Ako sme už uviedli, okrem toho možno tento program použiť v rámci zberu, analýzy, vizualizácie a reportovania informácií o údajoch.

### 10.3.1. Zber údajov

Údaje analyzované nižšie boli zozbierané pomocou PM senzorov. Ako už bolo spomenuté, PM senzor je zariadenie, ktoré meria kvalitu ovzdušia. Je napájané vhodným adaptérom z elektrickej siete, pričom je k internetu pripojené pomocou Wi-Fi. PM senzor aktivujeme podľa nižšie uvedených krokov.

1. PM senzor po vybratí z krabice a pripojíme k napájaniu.
2. Je potrebné upraviť nastavenia Wi-Fi, aby sa senzor pripojil k internetu. Na tento účel prejdeme na stránku *Nastavenia* pomocou vlastnej siete Wi-Fi a pripojíme zariadenie k domácej sieti.
3. Vyberieme vhodné miesto na použitie PM senzora. Uistíme sa, že zariadenie nie je zakryté a nachádza sa vo vonkajšom prostredí tak, aby naň pokiaľ možno nepršalo a ani nesvietilo priame slnečné svetlo.
4. PM senzor zbiera údaje a automaticky ich prenesie na webovú stránku. Tieto údaje sú prístupné prostredníctvom webového rozhrania uRADmonitor.

Na obr. 10.7 je znázornený prevádzkový stav senzora 1. Senzor sa nachádza na balkóne bytu v Adane (Turecko) a na prenos údajov sa vždy používal na rovnakom mieste. Zelené svetlo signalizuje, že prenos údajov prebieha.



Obr. 10.7: PM senzor 1.

### 10.3.2. Odosielanie údajov

Softvérový program SPSS ponúka jednoduché použitie procesu načítania údajov. Jednou z najpodstatnejších vlastností tohto programu je, že podporuje rôzne formáty súborov. V programe je možné otvoriť súbory vo formáte XLSX, CSV alebo SPSS. Po načítaní údajov si



Tab. 10.4: Vzorka Údajov zo senzora 1, senzora 2 a senzora 3.

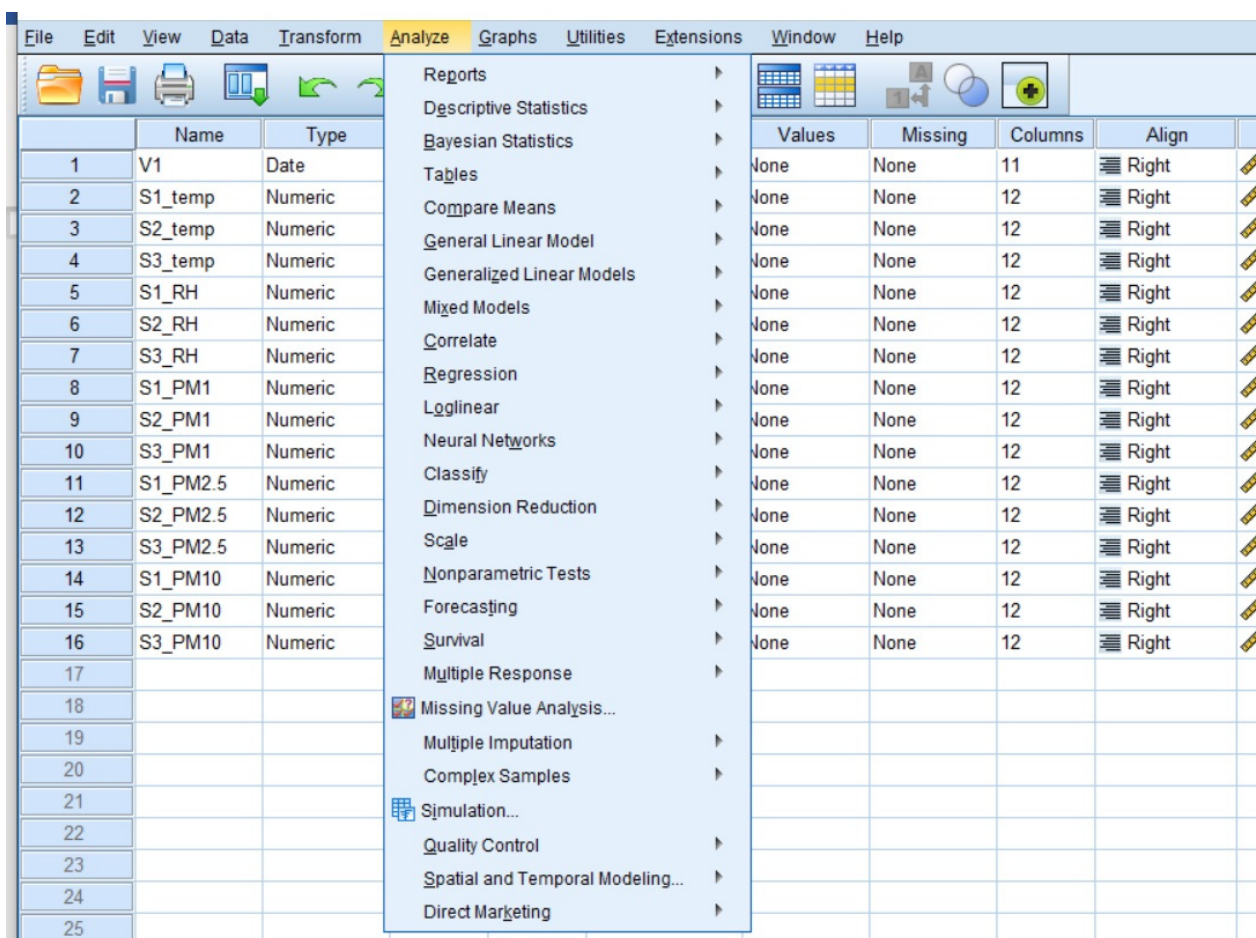
	S1_temp	S2_temp	S3_temp	S1_RH	S2_RH	S3_RH	S1_PM1	S2_PM1	S3_PM1	S1_PM2.5	S2_PM2.5	S3_PM2.5	S1_PM10	S2_PM10	S3_PM10
1.4.23 0:00	7.56	10.01	14.86	60	49	42	10	11	5	16	18	8	16	21	8
1.4.23 0:01	7.53	10.09	14.9	59.5	48.5	41.5	9	13	6	15	21	8	15	24	9
1.4.23 0:02	7.31	10.15	14.95	60	48.5	41.5	8	12	6	11	21	9	12	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. Deskriptívna analýza

Program SPSS dokáže zobraziť základné štatistické vlastnosti údajov, ako aj analyzovať a vyhodnotiť údaje. Do ponuky analýzy sa dostaneme výberom možnosti *Deskriptívna štatistika* (*Descriptive Statistics*) z ponuky *Analyzovať* (*Analyze*). Táto možnosť zobrazuje základné štatistické vlastnosti údajov. Medzi tieto charakteristiky patrí priemer, štandardná odchýlka, medián a kvartily. Analýzou týchto charakteristík možno získať dôležité informácie o údajoch.

- V ponuke *Analyzovať* (*Analyze*) vyberieme položku *Deskriptívna štatistika* (*Descriptive Statistics*), ako vidieť na obr. 10.9.
- Vyberieme relevantné premenné.
- Voľbu potvrdíme tlačidlom OK.



Obr. 10.9: Menu *Analyze* (*Analyzovať*) v programe SPSS.

V tab. 10.5 je uvedený výstup z deskriptívnej analýzy, ako aj úrovne teploty, vlhkosti a PM (častíc) namerané PM senzormi. Tabuľka obsahuje aj základné štatistické parametre, ako sú minimum, maximum, priemer a smerodajná odchýlka.

Medzi meraniami teploty sú hodnoty teploty namerané senzorom 3 vyššie v porovnaní s inými senzormi. Medzi senzormi 1 a 2 nie je veľký rozdiel. Medzi meraniami vlhkosti sú hodnoty vlhkosti namerané senzorom 1 najvyššie a hodnoty vlhkosti namerané senzorom 3 sú najnižšie.

Medzi meraniami PM1, PM2,5 a PM10 sú hodnoty PM1 a PM10 namerané senzorom 2 vyššie ako u ostatných snímačov. Hodnoty PM2,5 namerané senzorom 1 sú najvyššie a hodnoty PM2,5 namerané senzorom 3 najnižšie.



Senzor 3 namerá vyššie hodnoty teploty ako iné senzory, zatiaľ čo senzor 1 namerá vyššie hodnoty vlhkosti. Spomedzi meraní PM namerá senzor 2 vyššie hodnoty PM1 a PM10. Senzor 1 namerá vyššie hodnoty PM2,5. Vzhľadom na hodnoty smerodajnej odchýlky možno povedať, že hodnoty namerané senzorom 3 sú vo všeobecnosti menej variabilné.

**Tab. 10.5:** Deskriptívna analýza údajov.

	N	Minimum	Maximum	Priemer	Smerodajná odchýlka
S1_temp	39900	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

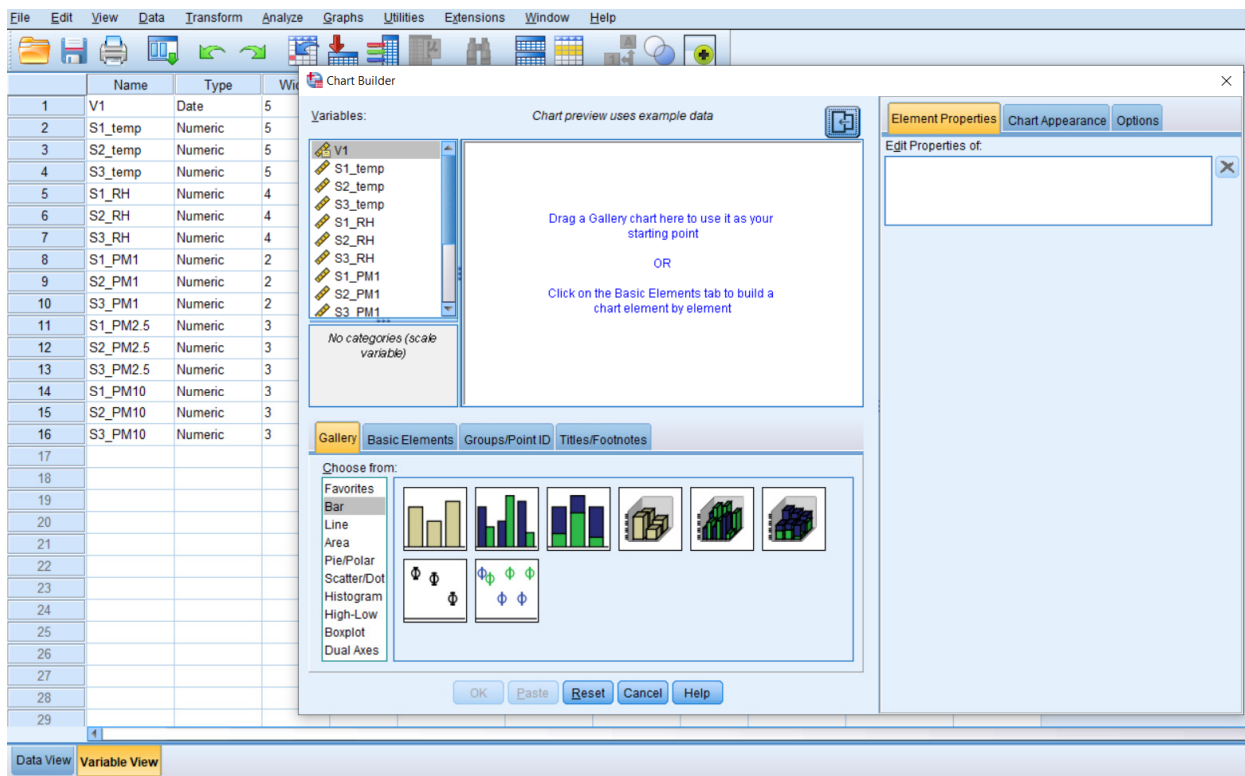
Tab. 10.5 tiež uvádza údaje o kvalite ovzdušia – údaje o teplote, relatívnej vlhkosti a počte pevných častíc (PM1, PM2,5 a PM10) pre tri rôzne senzory (1, 2 a 3). Údaje boli analyzované za apríl 2023. Minimálna, maximálna a priemerná hodnota, ako aj smerodajná odchýlka pre každý parameter, sú uvedené v tabuľke.

Záver z analýzy údajov sú nasledovné. Priemerná teplota pre senzor 1 je 17,63 °C so smerodajnou odchýlkou 4,014 °C. Hodnoty teploty namerané senzormi 2 a 3 sú vyššie ako pre senzor 1; maximálna teplota senzora 2 je 33 °C a senzora 3 je 36 °C. Priemerná relatívna vlhkosť (RH) nameraná senzorom 1 je 58,19 %, so smerodajnou odchýlkou 10,632 %. Hodnoty RH pre 2 a 3 senzor sú nižšie ako pre senzor 1; senzor 2 namerá maximálnu relatívnu vlhkosť na úrovni 69 % a senzor 3 na úrovni 75 %. Priemerné koncentrácie PM namerané senzormi 1, 2 a 3 klesajú v poradí PM10 > PM2,5 > PM1.

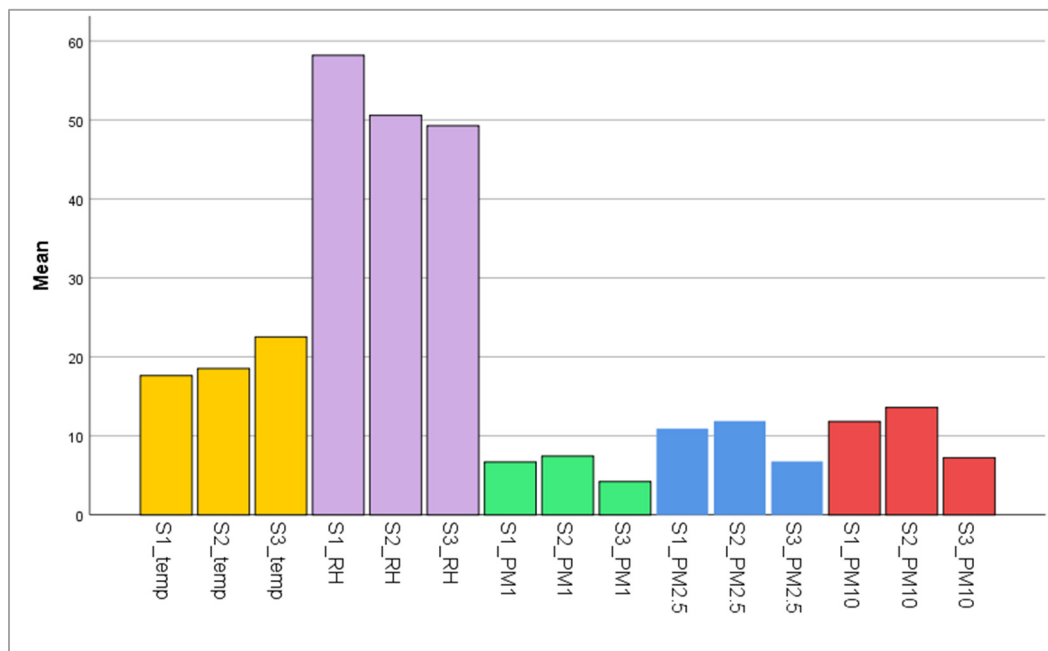
### 10.3.4. Vizualizácia údajov

SPSS softvér umožňuje aj analýzu dát pomocou vizualizácie (obr. 10.10). Údaje je možné vizualizovať výberom vhodného typu grafu z ponuky *Grafy (Graphs)*. Napríklad pomocou stĺpcového grafu (obr. 10.11) možno porovnávať merania rôznych senzorov. Typ grafu s označením *X-Y bodový (Scatterplot)* (obr. 10.12) dokáže vytvoriť graf zobrazujúci závislosť medzi údajmi z dvoch senzorov. Tieto grafy možno použiť na pochopenie rozdielov v údajoch a na vizualizáciu výsledkov.

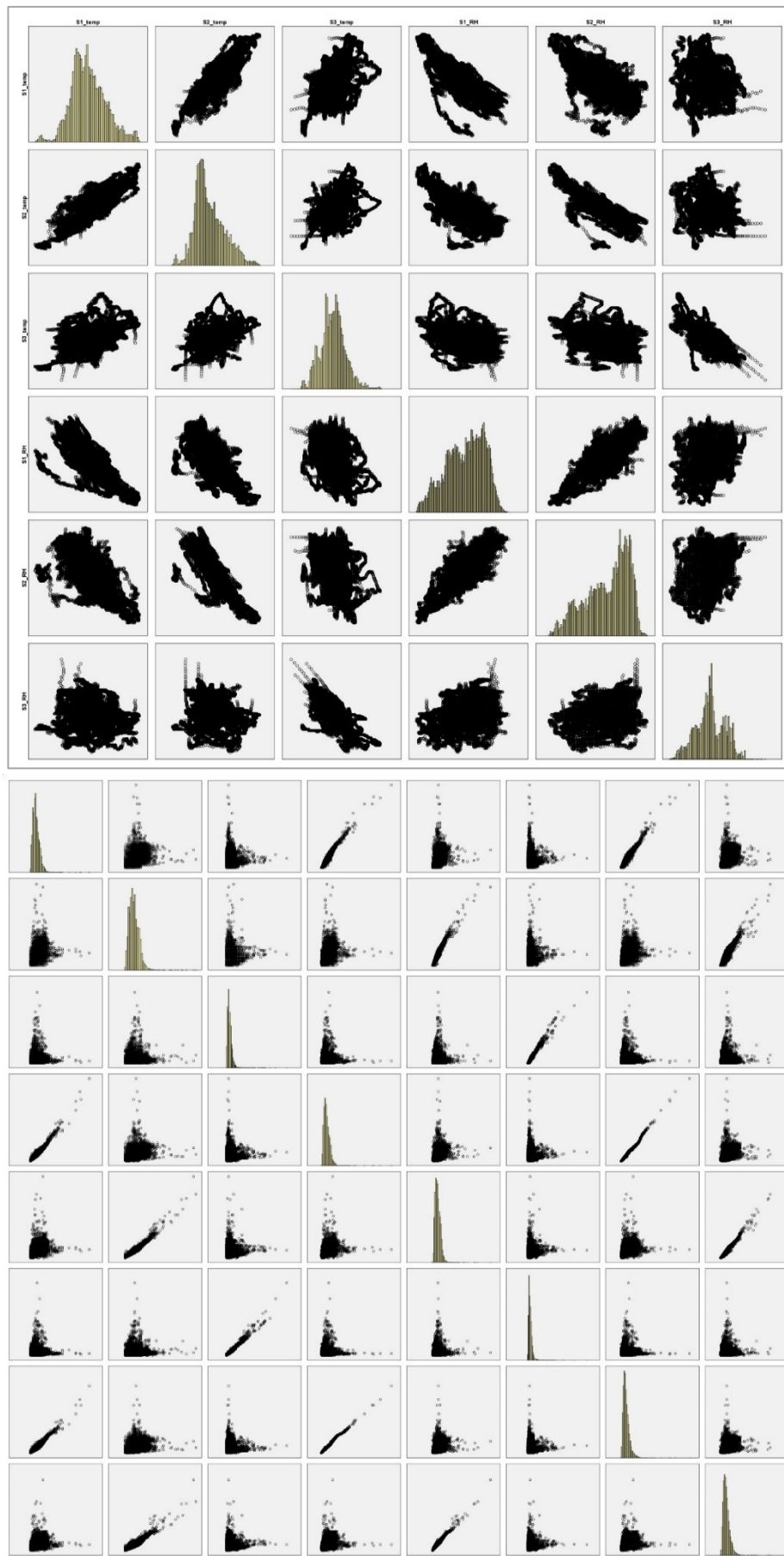
- Vyberieme vhodný typ grafu z ponuky *Grafy (Graphs)* (obr. 10.10).
- Zvolíme príslušné premenné.
- Potvrdíme tlačidlom OK.
- Program vytvorí vybraný typ grafu.



Obr. 10.10: Položka Grafy (Graphs) z hlavného menu v programe SPSS.



Obr. 10.11: Vytvorený stĺpcový graf.



Obr. 10.12: X-Y bodový graf.

Bodové grafy analyzujú, či existuje lineárny vzťah medzi dvoma premennými. Je však potrebné vypočítať Pearsonov korelačný koeficient, aby sme pochopili vzťah medzi dvoma údajmi v tomto grafe.

Pearsonov korelačný koeficient vypočítame podľa vzťahu:

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

kde:

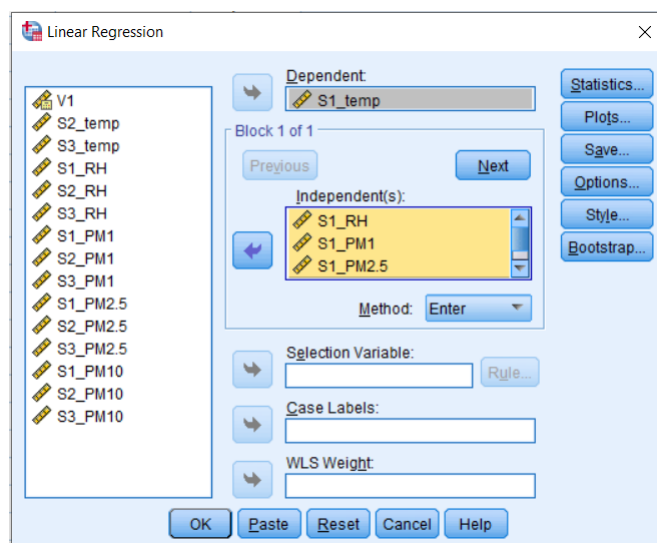
- N = počet dvojíc bodov
- $\sum xy$  = súčet súčinov párových skóre
- $\sum x$  = súčet x skóre
- $\sum y$  = súčet y skóre
- $\sum x^2$  = súčet druhých mocnín x skóre
- $\sum y^2$  = súčet druhých mocnín y skóre

Pearsonov koeficient definuje, či existuje veľká, stredná alebo malá korelácia a pozitívny alebo negatívny vzťah medzi dvoma údajmi.

Hoci korelačný koeficient nadobúda hodnoty v rozsahu -1 až +1 ( $-1 \leq r \leq +1$ ), hodnoty medzi 0,00 a 0,25 sú „veľmi slabé“. Hodnoty medzi 0,26 a 0,49 sú „slabé“ v korelačných koeficientoch. Hodnota medzi 0,50 a 0,69 je „stredná“, hodnota medzi 0,70 a 0,89 je „vysoká“ a hodnota medzi 0,90 a 1,00 je „veľmi vysoká“. Preto je potrebné vypočítať tieto koeficienty na interpretáciu grafov. Hodnoty korelačných koeficientov sú uvedené v tab. 10.7 nižšie. Z údajov v tabuľke možno vyčítať, že kým medzi teplotou a relatívnou vlhkosťou existuje negatívna korelácia, medzi hodnotami PM existuje pozitívna korelácia.

### 10.3.5. Regresná analýza

Regresná analýza je technika na určenie vzťahu medzi dvoma alebo viacerými premennými. Výberom možnosti *Regresia (Regression)* z ponuky *Analyzovať (Analyze)* je možné spustiť regresnú analýzu. Pomocou nej môžeme pochopiť, ako spolu premenné súvisia, a použiť tento vzťah na predpovede do budúcnosti. Regresná analýza sa môže použiť napríklad na nájdenie vzťahu medzi teplotou a vlhkosťou výberom týchto dvoch premenných (tab. 10.6).



Obr. 10.13: Okno pre lineárnu regresiu.

- V menu *Analýza (Analyze)* vyberte položku *Regresia (Regression)* (obr. 10.13).
- Zvoľte príslušné premenné.
- Voľbu potvrdte tlačidlom OK.
- Program pochopí vzťah medzi premennými a umožní realizovať budúce predpovede.

**Tab. 10.6:** Výstup z regresnej analýzy pre vzťah medzi teplotou a súvisiacimi hodnotami.  
S1 – senzor 1, S2 – senzor 2, S3 – senzor 3.

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Suma druhých mocnín	df	Druhá mocnina priemeru	F	Sig.
1	Regresia	383605,314	4	95901,329	14766,635	,000 <sup>b</sup>
	Reziduálny	259096,509	39895	6,494		
	Celkom	642701,824	39899			
a. Závislá premenná: S1_temp						
b. Predpovede: (konštanta), S1_PM10, S1_RH, S1_PM1, S1_PM2.5						

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Suma druhých mocnín	df	Druhá mocnina priemeru	F	Sig.
1	Regresia	483670,045	4	120917,511	23113,75	,000 <sup>b</sup>
	Reziduálny	208707,432	39895	5,231		
	Celkom	692377,477	39899			
a. Závislá premenná: S2_temp						
b. Predpovede: (konštanta), S2_PM10, S2_RH, S2_PM1, S2_PM2.5						

ANOVA						
Model		Suma druhých mocnín	df	Druhá mocnina priemeru	F	Sig.
1	Regresia	211562,893	4	52890,723	8618,332	,000 <sup>b</sup>
	Reziduálny	244835,694	39895	6,137		
	Celkom	456398,587	39899			
a. Závislá premenná: S3_temp						
b. Predpovede: (konštanta), S3_PM10, S3_RH, S3_PM1, S3_PM2.5						

Skúmanie tabuliek ANOVA určuje, ktoré prediktory významne ovplyvňujú závislé premenné a aký silný je tento efekt. Tu sa vykonáva analýza ANOVA. Ak je hladina významnosti hodnôt (sig.) menšia ako 0,05, možno povedať, že regresný model je významný pre každý súbor údajov. Podľa toho je prvá tabuľka spojená s S1\_temp, druhá tabuľka s S2\_temp a tretia tabuľka s dátami S3\_temp. Tieto tabuľky ukazujú výsledky analýzy rozptylu (ANOVA) pre tri rôzne modely, každý so závislou premennou, teplotou a štyrmi prediktormi relatívnej vlhkosti a pevných častíc.

Pri analýze prvej tabuľky je regresná časť (383605,314) oveľa väčšia ako reziduálna časť (259096,509), čo naznačuje, že významne ovplyvňuje prediktory S1\_temp. Tiež F-hodnota (14766,635) je oveľa väčšia ako kritická hodnota, čo naznačuje, že regresný model je významný.

Podobne druhá tabuľka ukazuje, že regresný model je významný pre S2\_temp, pretože F-hodnota (23113,715) je oveľa väčšia ako kritická hodnota.

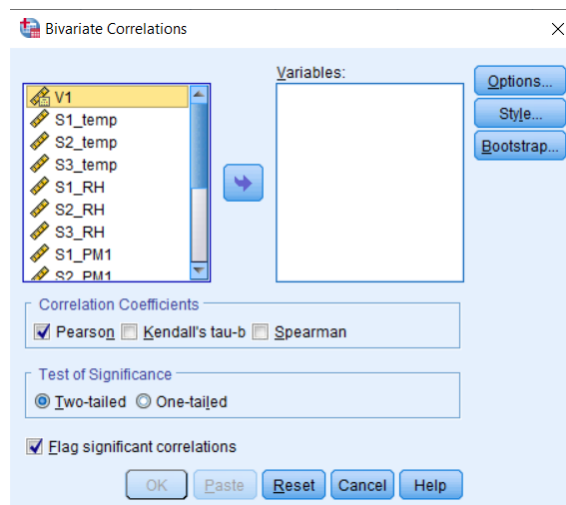
Nakoniec, tretia tabuľka ukazuje, že regresný model je významný pre S3\_temp, ale v nižšej miere ako ostatné dva modely, pretože F-hodnota (8618,332) je stále významná, ale nie taká vysoká ako pri ostatných dvoch modeloch.

### 10.3.6. Korelačná analýza

Korelačná analýza je štatistická metóda, používaná na meranie vzťahu medzi dvoma premennými. Táto analýza ukazuje vplyv jednej premennej na druhú a používa sa na výpočet korelačného koeficientu, ktorý meria tento vplyv.

Na vykonanie korelačnej analýzy v programe SPSS je potrebné realizovať nasledujúce kroky:

- Otvoríme SPSS softvér a načítame dáta.
- V menu *Údaje (Data)* vyberieme položku *Korelácie (Correllation)* (obr. 10.14).



**Obr. 10.14:** Okno *Korelácie (Corellations)* v programe SPSS.

- Na zobrazenej karte zvolíme premenné, pre ktoré chceme vykonať korelačnú analýzu.
- Keď je vo voľbe typu analýzy vybraný korelačný koeficient *Pearson*, zisťuje sa lineárny vzťah medzi premennými.
- Preskúmame tabuľku, aby sme z výsledkov testu určili, ktoré premenné navzájom najviac súvisia.
- Skontrolujeme p-hodnotu, aby sme zistili, či je vzťah štatisticky významný. (Napríklad hodnota  $p < 0,05$  sa považuje za štatisticky významnú.)

Na základe výsledkov je možné určiť, či majú premenné pozitívnu alebo negatívnu koreláciu. V pozitívnej korelácii sa premenné menia spoločne, zatiaľ čo v negatívnej korelácii sa jedna premenná zvyšuje, zatiaľ čo druhá klesá.

Korelačná analýza je výkonný štatistický nástroj na vyhodnotenie vzťahu medzi dvoma premennými. Program SPSS ponúka jednoduché a užívateľsky prívetivé rozhranie na vykonanie tejto analýzy. Podľa týchto krokov je možné vykonať korelačnú analýzu pomocou SPSS a výsledky vhodne interpretovať.

Výsledky korelačnej analýzy sú zobrazené v tab. 10.7. Tabuľka znázorňuje koreláciu teploty, vlhkosti a koncentrácií pevných častíc PM1, PM2,5 a PM10 nameraných rôznymi senzormi. Hodnoty v tabuľke boli vypočítané pomocou Pearsonovho korelačného koeficientu. Záporné hodnoty v tabuľke ukazujú inverzný vzťah medzi dvoma premennými, zatiaľ čo kladné hodnoty ukazujú priamoúmerný vzťah. Okrem toho boli medzi PM1, PM2,5 a PM10 zistené vysoké korelačné koeficienty (0,965\*\* – 0,989\*\*).

**Tab. 10.7:** Korelačná analýza údajov.

Korelácie												
	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).

Pri analýze údajov v korelačnej tabuľke možno určiť vzťahy medzi teplotou, relatívnou vlhkosťou a koncentráciami PM. Hodnoty v tabuľke predstavujú silu a smer vzťahu medzi každým párom premenných. Pri pohľade na údaje je vidieť, že existuje negatívna korelácia medzi teplotou a relatívnou vlhkosťou a tiež negatívna korelácia medzi teplotou a koncentráciami PM. Okrem toho existuje silná pozitívna korelácia medzi meraniami PM. Táto pozitívna korelácia medzi rôznymi meraniami PM naznačuje, že môžu byť ovplyvnené podobnými faktormi, resp. procesmi v životnom prostredí.

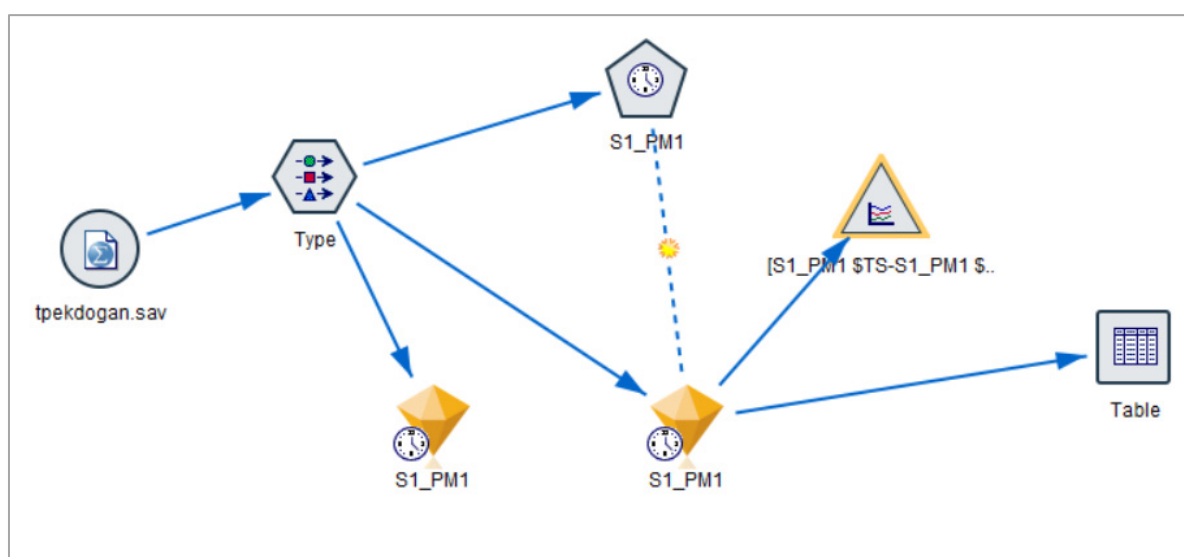
### 10.3.7. Rozšírenia SPSS

Program SPSS ponúka mnoho metód, ktoré možno použiť na analýzu údajov a interpretáciu výsledkov. Okrem iného je možné pridať rôzne metódy analýzy z ponuky programu *Rozšírenia (Extensions)*. Týmito doplnkami môžu byť napríklad *GeoMap*, ktorý umožňuje vizualizáciu údajov na mapách, alebo *Modeler*, ktorý umožňuje analyzovať údaje metódami strojového učenia. SPSS Modeler je softvérový nástroj na získavanie a analýzu dát. SPSS Modeler možno použiť aj na zostavenie predikčných modelov. Jedným z týchto modelov je napr. *Prognóza časových radov*, čo je v podstate metóda na predpovedanie budúcich trendov pomocou historických údajov.

Postup pre predpovedanie časových radov je nasledujúci:

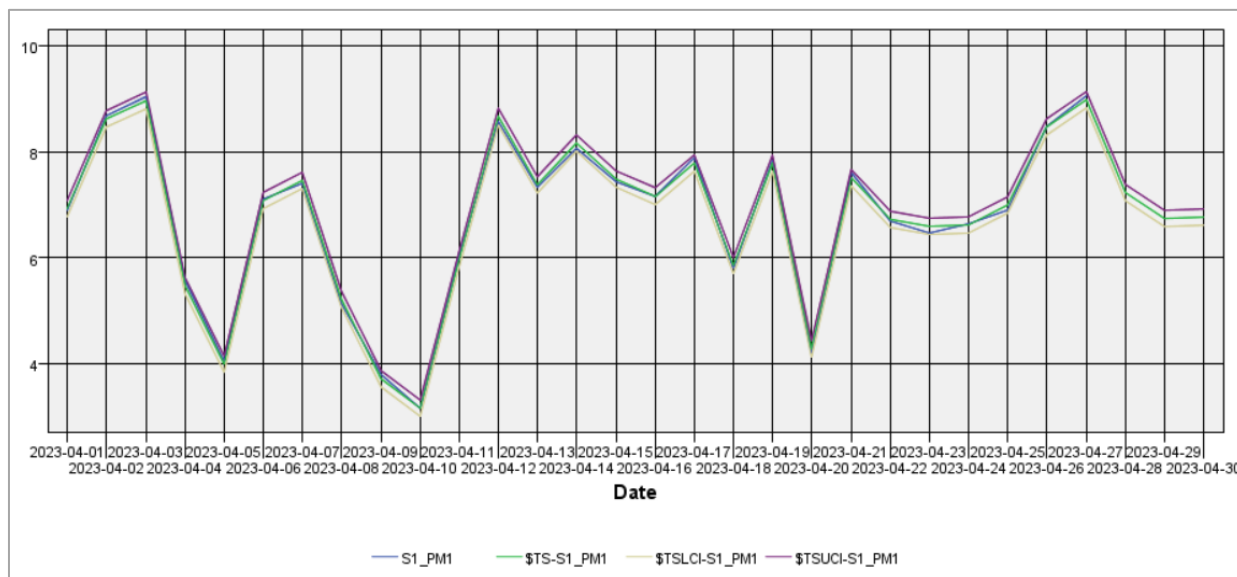
- Príprava údajov. Údaje musia byť pripravené na predpovedanie časových radov. Tieto údaje sú zozbierané za minulé obdobia.
- Analýza údajov. Keď sú údaje pripravené, v SPSS Modeleri sa vytvorí súbor údajov časových radov na analýzu.
- Vytvorenie predpovedného modelu. V SPSS Modeler je k dispozícii viacero nástrojov na vytváranie predpovedných modelov, ktoré obsahujú mnoho algoritmov vhodných na predpovedanie budúcich trendov.
- Vytváranie predpovedí. Po overení modelu možno predpovedať budúce trendy.
- Meranie spoľahlivosti výsledkov predikcie. Analýza výsledkov predikcie je dôležitá na meranie presnosti a spoľahlivosti modelu.

Podľa uvedených krokov je možné vykonať prognózu časových radov pomocou SPSS Modeler (obr. 10.15 a 10.16).



**Obr. 10.15:** Vizualizácia prúdového diagramu SPSS Modeler.





**Obr. 10.16:** Predpoveď časových radov v IBM SPSS Modeler.

SPSS Modeler nájde predpovedané hodnoty parametrov UCL a LCL, keď je požiadaný, aby predpovedal tri dni po tomto grafe. UCL predstavuje horný kontrolný limit v tabuľke a LCL predstavuje spodný kontrolný limit. V porovnaní s hodnotami získanými o tri dni neskôr je priemerná hodnota 7,14 PM1 (nameraná hodnota k 30. aprílu 2023), zatiaľ čo predpovedaná hodnota je 6,770. Hodnota LCL je 6,616 a hodnota UCL je 6,924. Je vidieť, že rozdiel medzi nimi je v priemere 5,5 %.

## 10.4. Záver

V tejto kapitole sme analyzovali namerané údaje získané v rámci projektu 2021-1-RO01-KA220-HED-000030286 „Uplatňovanie niektorých pokročilých technológií vo výučbe a výskume v súvislosti so skúmaním znečistenia ovzdušia“ pomocou štatistického programu SPSS. Podrobne sme analýzu údajov, zozbieraných z rôznych senzorov merajúcich teplotu, vlhkosť a úroveň koncentrácie pevných častíc. Realizovaná analýza zahŕňa štatistické metódy, ako je deskriptívna štatistika, vizualizácia dát, regresná analýza, korelačná analýza a odhad časových radov pomocou softvéru SPSS.

Opisné štatistiky v tomto prehľade poskytujú lepšie pochopenie charakteristík údajov. V tomto štádiu boli vypočítané hodnoty priemeru, mediánu, štandardnej odchýlky a kvartil. Napríklad senzor S2 nameral vyššie hodnoty PM1 a PM10 ako merania PM, zatiaľ čo senzor S1 nameral vyššie hodnoty PM2,5.

Počas fázy vizualizácie údajov boli pomocou softvéru SPSS vytvorené rôzne grafy, ako sú stĺpcové grafy, X-Y bodové grafy a škatuľové grafy.

Regresná analýza je ďalšou metódou na určenie vzťahu medzi dvoma alebo viacerými premennými.

Ďalšou analytickou metódou je korelačná analýza, používaná na meranie vzťahu medzi dvoma premennými.

Pri finálnej záverečnej analýze bolo využité rozšírenie SPSS Modeler v rámci inej inštalácie programu. Tento program funguje ako rozšírenie programu SPSS; dá sa pomocou neho urobiť veľa analýz a vizualizácií. Zrealizovali sme tak prognózu časových radov s cieľom predpovedať budúce trendy pomocou historických údajov.

V kapitole sme sa zamerali na dôležitosť monitorovania a analýzy kvality ovzdušia nad rámec monitorovania. Analýza údajov zo senzorov môže poskytnúť dôležité informácie o faktoroch ovplyvňujúcich kvalitu ovzdušia. Špeciálne na porovnávanie dvoch údajov alebo predpovedanie budúcnosti ponúka softvér SPSS rôzne metódy na analýzu údajov a interpretáciu výsledkov. Dodržiavanie krokov, uvedených v tejto kapitole, umožňuje lepšie porozumieť údajom a prijímať informované rozhodnutia o kvalite ovzdušia.

## Literatúra

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., Udristioiu, M. T., Yildizhan, H. and Ameen, A, From Local Issues to Global Impact: Evidence of Air Pollution for Romania and Turkey. Available at SSRN:
14. <https://ssrn.com/abstract=4569124> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4569124>



Tento materiál bol financovaný Európskou komisiou v rámci projektu Erasmus+  
***Uplatňovanie niektorých pokročilých technológií vo výučbe a výskume v súvislosti  
so skúmaním znečistenia ovzdušia***

Podpora Európskej komisie pri vytváraní tejto publikácie nepredstavuje schválenie obsahu, ktorý odráža iba názory autorov, a národná agentúra a Komisia nenesú zodpovednosť za akékoľvek použitie informácií v nej obsiahnutých.

