



PROIECT DE CERCETARE
PLATFORMA AI DE BIOMONITORIZARE
ȘI LOCALIZARE PENTRU MISIUNI
MILITARE

RAPORTUL TEHNIC DE CERCETARE

Nr. 2

Conf. Dr. Ing. Felix-Constantin ADOCHIEI

Drd. Matei GEORGE

Simona-Narcisa ARGHIR

Cuprins

1. INTRODUCERE.....	4
2. IMPACTUL POLUĂRII AERULUI ASUPRA SĂNĂTĂȚII PUBLICE	6
2.1 Monoxidul de carbon (CO)	7
2.2 Dioxidul de carbon (CO ₂).....	8
2.3 Hidrogenul sulfurat (H ₂ S)	8
2.4 Dioxidul de azot (NO ₂).....	9
2.5 Ozonul (O ₃)	9
2.6 Particulele în suspensie (PM _{2,5} și PM ₁₀)	9
2.7 Temperatura și umiditatea relativă (RH/T).....	11
3. SISTEME DE MONITORIZARE A CALITĂȚII.....	12
4. MATERIALE ȘI METODE.....	15
4.1. Componentele hardware	15
4.1.1 Sensirion SPS30.....	15
4.1.2 Sensirion SVM30	16
4.1.3 SPEC Sensors.....	18
4.1.4 Modulul de comunicare.....	23
4.1.4 Modulul de comunicare.....	24
4.2. Componentele software.....	26
4.3 Arhitectura Sistemului de Monitorizare a CAI	29
5. REZULTATE.....	31
6. Rezultate publicate	36
Concluzii	38
BIBLIOGRAFIE	40

1. INTRODUCERE

Legătura dintre sănătatea umană și calitatea aerului a fost recunoscută încă din antichitate, Hippocrate subliniind rolul factorilor de mediu în influențarea sănătății. Astăzi, poluarea aerului este considerată o problemă majoră la nivel global, având un impact profund asupra sănătății publice. Expunerea la poluanți atmosferici contribuie la dezvoltarea unor afecțiuni severe, precum bolile respiratorii și cardiovasculare, cancerele și alte afecțiuni cronice. Studiile contemporane confirmă că nivelurile ridicate de poluare a aerului, în special în aglomerările urbane, reprezintă un risc semnificativ pentru sănătatea umană, motiv pentru care monitorizarea în timp real a parametrilor atmosferici devine esențială.

Pentru a răspunde acestei nevoi stringente, lucrarea de față propune dezvoltarea unui sistem IoT (Internet of Things) destinat monitorizării calității aerului. Sistemul este conceput să măsoare în timp real o gamă largă de parametri relevanți, printre care se numără monoxidul de carbon (CO), un gaz toxic produs prin arderea incompletă a combustibililor, dioxidul de carbon (CO₂), un gaz cu rol important în efectul de seră, hidrogenul sulfurat (H₂S), recunoscut pentru mirosul său specific de ouă stricate, dioxidul de azot (NO₂), un poluant major rezultat din arderea combustibililor, ozonul (O₃), care la nivelul solului este un produs al reacțiilor chimice dintre poluanți primari, particulele în suspensie (PM_{2,5} și PM₁₀), recunoscute pentru impactul lor sever asupra sistemului respirator, temperatura și umiditatea relativă (RH/T), care influențează percepția condițiilor de mediu și confortul uman.

Arhitectura sistemului IoT integrează mai multe componente hardware și software pentru a asigura o funcționare eficientă. Senzorii utilizați, respectiv SPS30, SVM30, DGS-CO 968-034, DGS-H₂S 968-036 și DGS-SO₂ 968-038, sunt selectați pentru acuratețea lor ridicată în măsurarea parametrilor menționați. Aceste module sunt conectate la un microcontroler ESP32, care centralizează și procesează datele colectate. Sistemul este capabil să detecteze chiar și fluctuații minore ale concentrațiilor de poluanți, datorită algoritmilor de preprocesare implementați.

Datele prelucrate sunt transmise către un server centralizat prin intermediul unei conexiuni Wi-Fi, ceea ce permite stocarea și analiza ulterioară a acestora. Utilizatorii pot accesa informațiile în timp real printr-o aplicație dedicată, care oferă reprezentări grafice sau numerice ale datelor colectate. De asemenea, aplicația este configurată să genereze alerte atunci când valorile parametrilor monitorizați depășesc pragurile de siguranță prestabilite. Astfel, utilizatorii sunt informați rapid și pot lua măsuri prompte pentru reducerea expunerii la poluanți, cum ar fi ajustarea ventilației sau evitarea zonelor puternic poluate.

Sistemul IoT propus reprezintă o soluție modernă și scalabilă pentru gestionarea problemelor legate de poluarea aerului, contribuind semnificativ la îmbunătățirea sănătății publice. Integrarea senzorilor avansați, a microcontrolerului ESP32 și a aplicației mobile într-o singură platformă oferă o soluție accesibilă și eficientă pentru monitorizarea și controlul calității aerului. În plus, arhitectura modulară permite extinderea sistemului cu senzori suplimentari pentru măsurarea altor poluanți, cum ar fi metanul sau formaldehida, deschizând calea pentru aplicații mai complexe în domenii precum monitorizarea industrială, cercetarea mediului și gestionarea urbană. Acest sistem demonstrează potențialul tehnologiei IoT în transformarea monitorizării mediului într-un proces accesibil, fiabil și eficient, contribuind la o mai bună protecție a sănătății umane și a mediului înconjurător.

2. IMPACTUL POLUĂRII AERULUI ASUPRA SĂNĂTĂȚII PUBLICE

Poluarea aerului reprezintă una dintre cele mai presante probleme de sănătate publică la nivel global. Relația dintre calitatea aerului și sănătatea umană a fost recunoscută încă din antichitate, fiind evidențiată de Hippocrate și consolidată ulterior prin numeroase studii [2]–[6]. În prezent, expunerea la aer poluat contribuie semnificativ la o gamă largă de probleme de sănătate, inclusiv boli respiratorii, cardiovasculare, cancer și alte afecțiuni cronice [7]–[10].

În 2016, 90% din populația globală a fost expusă la aer care nu respecta standardele de calitate recomandate de Organizația Mondială a Sănătății (OMS), iar peste jumătate din locuitorii lumii au respirat aer cu niveluri de poluare de aproape 2,5 ori mai mari decât limitele de siguranță stabilite de OMS [34]. În acel an, poluarea aerului, atât interioară (PAI), cât și exterioară (PAE), a fost responsabilă pentru aproximativ 7 milioane de decese la nivel mondial.

Dintre acestea, 94% s-au produs în țările cu venituri mici și mijlocii (TVMM). Cele mai afectate regiuni au fost Asia de Sud-Est și Pacificul de Vest, cu 2,2 milioane și, respectiv, 2,4 milioane de decese. Africa a înregistrat aproximativ 980.000 de victime, regiunea Mediteranei de Est 475.000, Europa 348.000 și Americile 233.000. În țările cu venituri mari (TVM), numărul deceselor a fost semnificativ mai mic: 280.000 în Europa, 83.000 în Pacificul de Vest și 18.000 în Mediterana de Est [9]. Repartizarea deceselor pe regiuni este ilustrată în Figura 1.1.

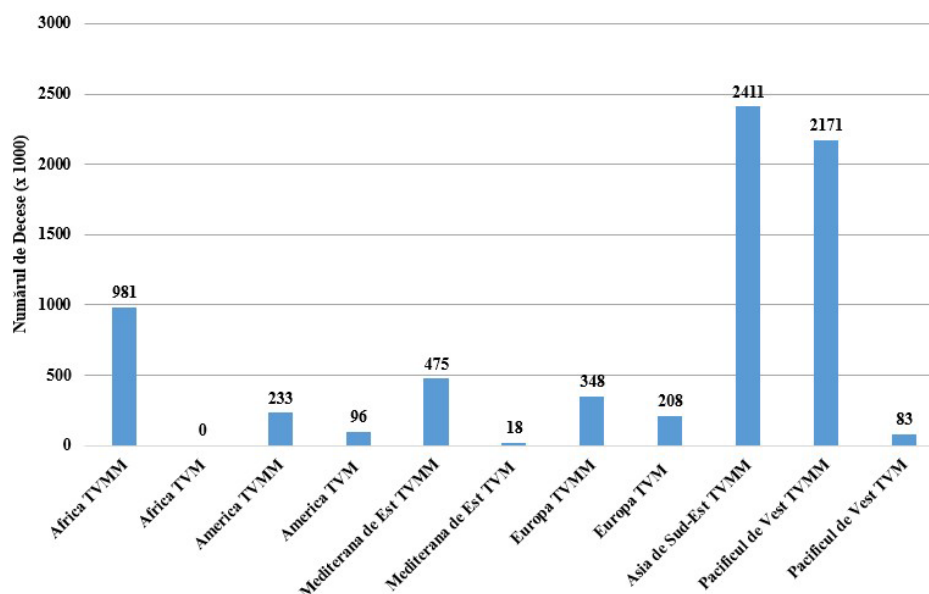


Figura 2.1. Totalul deceselor atribuite efectelor combinate ale PAI și PAE în 2016 , în funcție de regiune

Expunerea la substanțe poluante precum particulele în suspensie (PM_{2,5} și PM₁₀), monoxidul de carbon (CO) și ozonul (O₃) a fost asociată cu numeroase efecte negative asupra sănătății, de la iritații minore până la afecțiuni severe, inclusiv cancere și boli neurodegenerative [14]–[19]. Din acest motiv, monitorizarea calității aerului este esențială pentru reducerea riscurilor asociate.

Dezvoltarea tehnologiilor IoT (Internet of Things) a deschis noi perspective pentru evaluarea și gestionarea calității aerului. Soluțiile moderne permit monitorizarea parametrilor de mediu în timp real, oferind informații utile pentru luarea deciziilor. Un exemplu este utilizarea senzorilor avansați integrați în rețele IoT, care măsoară poluanți precum metan (CH₄), dioxid de carbon (CO₂), hidrogen sulfurat (H₂S) și dioxid de azot (NO₂). Aceste date sunt procesate de microcontrolere precum Arduino Zero și transmise prin module Wi-Fi către platforme dedicate, cum ar fi serverul Blynk, pentru stocare și analiză.

Aceste sisteme facilitează accesul utilizatorilor la date esențiale despre calitatea aerului prin aplicații mobile, oferind alerte atunci când nivelurile de poluare depășesc pragurile sigure. Astfel, persoanele pot lua măsuri rapide pentru protejarea sănătății lor, fie prin ventilarea spațiilor, utilizarea filtrelor de aer sau reducerea surselor de poluare internă.

În concluzie, abordarea integrată a problemelor legate de poluarea aerului, prin combinarea cercetării, tehnologiei și conștientizării publice, reprezintă o cale esențială pentru îmbunătățirea sănătății publice.

2.1 Monoxidul de carbon (CO)

Monoxidul de carbon este un gaz incolor și inodor, extrem de toxic, produs prin arderea incompletă a combustibililor fosili. Expunerea la CO în concentrații ridicate reduce capacitatea hemoglobinei de a transporta oxigenul în organism, ducând la efecte severe asupra sistemului cardiovascular și nervos. Sursele principale includ traficul rutier, instalațiile industriale și utilizarea echipamentelor pe bază de combustie.



Figura 2.2 - Monoxidul de carbon reprezintă o combinație între un atom de carbon și un atom de oxigen

2.2 Dioxidul de carbon (CO₂)

Dioxidul de carbon este un gaz esențial pentru procesele naturale, dar concentrațiile crescute în atmosferă contribuie la efectul de seră și la schimbările climatice. Deși nu este toxic în concentrații normale, nivelurile ridicate de CO₂ pot provoca disconfort respirator, afectând în special persoanele sensibile. Sursele principale includ activitățile industriale, arderea combustibililor și defrișările.



Figura 2.3 - Dioxidul de carbon

2.3 Hidrogenul sulfurat (H₂S)

Hidrogenul sulfurat este un gaz caracterizat printr-un miros puternic de ouă stricate, produs în principal de procesele de descompunere a materialelor organice și de activitățile industriale. Expunerea la H₂S în concentrații mari poate provoca iritații ale căilor respiratorii, dureri de cap și chiar efecte toxice severe.

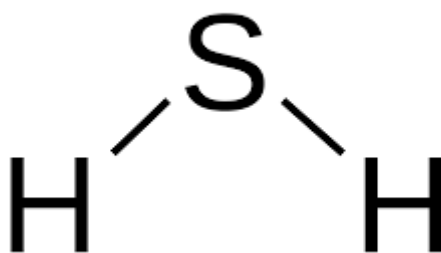
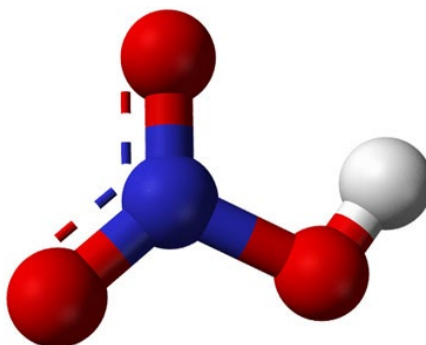


Figura 2.4 – Hidrogenul sulfurat

2.4 Dioxidul de azot (NO₂)

Dioxidul de azot este un poluant atmosferic rezultat din arderea combustibililor în motoare și instalații industriale. NO₂ contribuie la formarea ploilor acide și a smogului fotochimic, având un impact negativ asupra funcției pulmonare și agravând bolile respiratorii cronice.



NO₂ Azot Dioksit

Figura 2.5 – Măsurare dioxid de azot

2.5 Ozonul (O₃)

Ozonul la nivelul solului, diferit de stratul de ozon stratosferic benefic, este format prin reacții chimice între poluanți primari în prezența luminii solare. Expunerea la O₃ poate cauza iritații oculare, respiratorii și afectarea țesutului pulmonar, fiind un factor agravant pentru persoanele cu astm.

2.6 Particulele în suspensie (PM_{2,5} și PM₁₀)

Particulele în suspensie, denumite PM_{2,5} și PM₁₀, reprezintă poluanți atmosferici extrem de periculoși pentru sănătatea umană și mediu. PM₁₀ sunt particule cu un diametru mai mic de 10 micrometri, care pot fi inhalate și afectează tractul respirator superior, în timp ce PM_{2,5}, având un diametru sub 2,5 micrometri, pătrund adânc în plămâni și pot ajunge în sistemul circulator. Aceste particule provin din surse naturale precum praful, erupțiile vulcanice, aerosolii marini și incendiile de vegetație, dar și din surse antropice, cum ar fi emisiile vehiculelor, arderea combustibililor fosili, procesele industriale și activitățile agricole. Expunerea prelungită la PM_{2,5} și PM₁₀ este asociată cu o gamă largă de probleme de sănătate,

incluzând afecțiuni respiratorii precum astmul, bronșita cronică, reducerea funcției pulmonare, boli cardiovasculare precum infarctul miocardic și accidentele vasculare cerebrale, dar și cancer pulmonar. Grupurile vulnerabile, cum ar fi copiii, vârstnicii, femeile însărcinate și persoanele cu boli cronice, sunt cele mai afectate. În plus, aceste particule au un impact semnificativ asupra mediului, contribuind la reducerea vizibilității prin formarea smogului, la depuneri dăunătoare pe sol și apă, care afectează fertilitatea și calitatea acestora, și la deteriorarea vegetației prin blocarea fotosintezei. Combaterea acestui tip de poluare necesită tehnologii avansate precum filtrele HEPA, modernizarea vehiculelor, tranziția către surse de energie curate și politici stricte în sectoare cheie precum transportul, industria și agricultura. Conștientizarea populației despre riscurile asociate particulelor în suspensie este, de asemenea, esențială pentru reducerea poluării și îmbunătățirea sănătății publice și a calității aerului. Monitorizarea constantă și implementarea unor măsuri sustenabile sunt fundamentale pentru a minimiza efectele negative ale PM_{2,5} și PM₁₀ asupra sănătății umane și a mediului.



Figura 2.6 - Impactul Particulelor PM_{2,5} și PM₁₀: Poluarea Aerului și Sănătatea Umană

2.7 Temperatura și umiditatea relativă (RH/T)

Temperatura și umiditatea relativă (RH/T) influențează direct sănătatea și confortul uman, având un rol esențial în modul în care organismul se adaptează la condițiile de mediu. Temperatura ridicată poate duce la insolație, deshidratare și epuizare termică, iar în cazuri extreme, la șoc hipertermic, care reprezintă o urgență medicală. Frigul extrem, pe de altă parte, crește riscul de hipotermie, degerături și agravează bolile cardiovasculare și respiratorii, contribuind la o mortalitate crescută în sezonul rece. Umiditatea relativă joacă un rol crucial în percepția termică. Nivelurile scăzute de umiditate pot usca mucoasele nazale și pielea, favorizând infecțiile respiratorii și agravând astmul, în timp ce umiditatea ridicată reduce eficiența evaporării transpirației, crescând riscul de disconfort termic, epuizare și insolație. În plus, umiditatea mare favorizează dezvoltarea mucegaiurilor și alergenilor, care pot provoca reacții alergice și crize de astm. Efectele combinate ale temperaturii și umidității sunt reflectate în indicele de confort termic, utilizat pentru a evalua riscul de stres termic. Expunerea prelungită la condiții nefavorabile de RH/T poate avea efecte cumulative asupra sănătății, contribuind la dezvoltarea bolilor cronice și la răspândirea bolilor vectoriale în regiunile calde și umede. Gestionarea adecvată a temperaturii și umidității în medii controlate, precum locuințele și spațiile de lucru, este esențială pentru menținerea sănătății și a confortului populației.

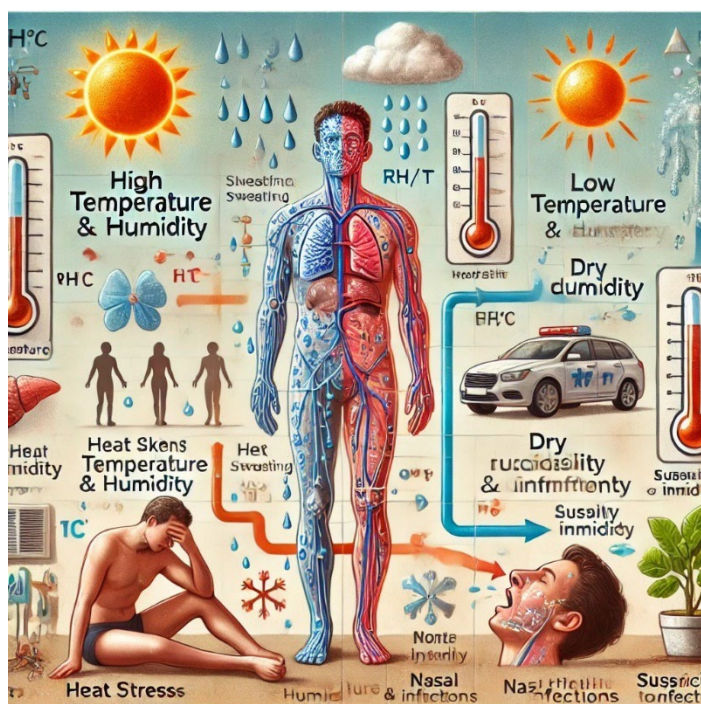


Figura 2.7 – Efectele Temperaturii și Umidității Relative (RH/T) Asupra Sănătății Umane

3. SISTEME DE MONITORIZARE A CALITĂȚII

Sistemele portabile de monitorizare a calității aerului permit evaluarea în timp real a poluanților atmosferici, oferind utilizatorilor informații esențiale despre mediul înconjurător. Aceste dispozitive compacte și ușor de utilizat sunt ideale pentru persoanele preocupate de sănătatea lor și de calitatea aerului pe care îl respiră.

Exemple de sisteme portabile de monitorizare a calității aerului:

1. **Aparat de monitorizare a calității aerului DM509-O3:** Acest dispozitiv portabil măsoară concentrațiile de ozon (O_3) și alți poluanți, oferind date precise despre calitatea aerului. Designul său compact îl face ușor de transportat și utilizat în diverse medii.



Figura 3.1 - DM509-O3

2. **Aparat de monitorizare a calității aerului DM72B:** Echipat cu senzori pentru particule PM_{2,5} și PM₁₀, acest monitor oferă informații detaliate despre poluarea cu particule în suspensie, esențiale pentru persoanele sensibile la poluarea aerului.



Figura 3.2 - DM72B

3. **Aparat de monitorizare a calității aerului DM609:** Acest dispozitiv multifuncțional măsoară parametri precum temperatura, umiditatea, concentrațiile de CO₂ și particule în suspensie, oferind o imagine completă a calității aerului din jur.



Figura 3.3 - DM609

4. **Aparat portabil pentru măsurarea calității aerului 5-în-1:** Acest monitor detectează temperatura, umiditatea, CO₂, compuși organici volatili (TVOC) și formaldehidă (HCHO), fiind ideal pentru utilizarea în locuințe sau birouri.



Figura 3.4 - Aparat portabil pentru măsurarea calității aerului 5-în-1

Aceste dispozitive sunt disponibile pe piața din România și pot fi achiziționate de la furnizori specializați în echipamente de monitorizare a mediului. Utilizarea lor contribuie la conștientizarea nivelului de poluare și la adoptarea măsurilor necesare pentru protejarea sănătății.

4. MATERIALE ȘI METODE

Acest capitol prezintă detaliat procesul de implementare a unui sistem de monitorizare a calității aerului, care se bazează pe două componente esențiale: partea hardware și partea software. Acestea colaborează pentru a permite monitorizarea în timp real a parametrilor de mediu, oferind utilizatorilor informații precise și relevante despre calitatea aerului.

4.1. Componentele hardware

Partea hardware a sistemului de monitorizare include toate echipamentele fizice necesare pentru colectarea datelor și procesarea acestora. Principalele componente hardware sunt: **Senzori de mediu:** Aceștia sunt specializați pentru măsurarea diferiților parametri, precum concentrațiile de gaze (CO, CO₂, H₂S, NO₂, O₃), particule în suspensie (PM_{2,5} și PM₁₀), temperatura și umiditatea relativă. **Microcontroler:** Un dispozitiv de tip Arduino Mega sau similar este folosit pentru procesarea datelor furnizate de senzori. Microcontrolerul gestionează colectarea datelor și pregătirea acestora pentru transmisie. **Modul de comunicație wireless:** De exemplu, modulul Wi-Fi ESP-01 permite transmiterea datelor către o platformă de stocare sau o aplicație mobilă. **Alimentare electrică:** Include o sursă de alimentare stabilă, fie baterii, fie o conexiune la rețea, pentru asigurarea funcționării continue a dispozitivului.

4.1.1 Sensirion SPS30

Senzorul digital SPS30, proiectat pe baza principiului împrăștierei laser, reprezintă o soluție avansată pentru monitorizarea particulelor în suspensie, incluzând PM_{1.0}, PM_{2.5}, PM₄ și PM₁₀ (Figura 3.1). Acest senzor este conceput pentru a oferi măsurători precise și fiabile, fiind precalibrat pentru a elimina necesitatea ajustărilor suplimentare înainte de utilizare. Datorită construcției sale robuste și rezistenței ridicate la contaminanți, SPS30 reduce semnificativ necesitatea mentenanței periodice, asigurând o funcționare continuă fără degradarea performanțelor. Această caracteristică minimizează riscurile asociate cu driftul senzorului sau cu posibilele defecte cauzate de acumularea de impurități, aspect care îl face ideal pentru utilizarea în medii cu niveluri variabile de poluare. În plus, tehnologia împrăștierei laser integrată în SPS30 garantează o detecție exactă a concentrațiilor de particule, contribuind la o evaluare detaliată și în timp real a calității aerului [114]. Această combinație de precizie, durabilitate și fiabilitate îl poziționează drept o componentă esențială în sistemele de monitorizare a calității aerului.



Figura 4.1. Sensirion SPS30 pentru monitorizarea nivelului de PM

Tabel 4.1. Caracteristicile detectorului SPS30 [114]

Domeniul de Măsurare	0 – 1.000		μg/m
Dimensiunea Particulelor Detectate	PM1.0	0,3 – 1,0	μm
	PM2.5	0,3 – 2,5	μm
	PM4	0,3 – 4,0	μm
	PM10	0,3 – 10,0	μm
Precizia în cazul PM1 și PM2.5	0 – 100 μg/m ³	± 10	μg/m ³
	100 – 1.000 μg/m ³	± 10	% m.v.
Precizia în cazul PM4 și PM10	0 – 100 μg/m ³	± 25	μg/m ³
	100 – 1.000 μg/m ³	± 25	% m.v.
Interval de Măsurare	-	1 ± 0,04	s

4.1.2 Sensirion SVM30

Modulul digital SVM30 (Figura 4.2) reprezintă o soluție integrată pentru monitorizarea mai multor parametri esențiali ai calității aerului. Acesta utilizează senzorul MOS SGP30 pentru măsurarea nivelurilor de dioxid de carbon (CO₂) și a compușilor organici volatili totali (TCOV), oferind informații detaliate și precise despre poluanții chimici din mediu. În completare, modulul integrează senzorul SHTC1, care permite monitorizarea temperaturii și a umidității relative, parametri esențiali pentru interpretarea corectă a datelor privind calitatea aerului.

Un aspect tehnologic distinctiv al modulului SVM30 este rezistența ridicată a elementului senzitiv al senzorului SGP30 la contaminarea cu siloxani, compuși frecvent întâlniți în aplicații industriale și casnice. Această caracteristică asigură o stabilitate pe termen lung, menținând driftul senzorului la un nivel minim chiar și în medii dificile. Prin proiectarea sa, modulul furnizează semnale de calitate a aerului calibrate, compensând automat influențele externe precum variațiile de temperatură și umiditate, datorită unui algoritm intern sofisticat.

În plus, SVM30 oferă ieșiri calibrate și fiabile, eliminând necesitatea unei preprocesări suplimentare a datelor. Acest lucru facilitează integrarea rapidă în sistemele de monitorizare a aerului și optimizează performanța generală a acestor sisteme. Capacitatea de a măsura simultan parametri multipli și de a compensa sensibilitatea încrucișată între diferiți factori de mediu face din acest modul o alegere ideală pentru aplicațiile complexe în care se impune un control strict al calității aerului [114].

Prin caracteristicile sale inovatoare, modulul SVM30 contribuie semnificativ la realizarea unor măsurători de înaltă precizie, asigurând atât fiabilitate, cât și eficiență în monitorizarea și gestionarea condițiilor de mediu.



Figura 4.2. Sensirion SVM30 pentru monitorizarea CO₂ și RH/T

Tabel 4.2. Caracteristicile detectorului SVM30 [113]

Domeniul de Măsurare	TCOV	0 – 60.000 ppb	-
	CO ₂	4.000 – 60.000 ppm	-
	Umiditate Relativă	0 – 100 (fără condensare)	%RH
	Temperatură	-20 – 85	°C
Rezoluție	TCOV	0 – 2.008 ppb	1 ppb
		2.0008 – 11.110 ppb	6 ppb
		11.110 – 60.000 ppb	32 ppb
	CO ₂	40 – 1.479 ppm	1 ppm
		1.479 – 5.144 ppm	3 ppm
		5.144 – 17.597 ppm	9 ppm
		17.597 – 60.000	31 ppm
	Umiditate Relativă	0,01	%RH
	Temperatură	0,01	°C

4.1.3 SPEC Sensors

Detectorii **DGS-CO 968-034**, **DGS-H2S 968-036** și **DGS-SO2 968-042** (Figura 4.3), dezvoltati de SPEC Sensors, sunt module digitale avansate echipate cu senzori amperometrici de înaltă performanță. Acești senzori sunt precalibrați din fabrică și beneficiază de compensare pentru variațiile de temperatură, asigurând o acuratețe ridicată și o stabilitate pe termen lung în monitorizarea parametrilor de mediu. Designul compact și integrarea ușoară în diverse aplicații fac ca aceste module să fie potrivite pentru sisteme de monitorizare a calității aerului atât în medii industriale, cât și rezidențiale.

Acești detectori permit monitorizarea nivelurilor de poluanți precum monoxidul de carbon (CO), hidrogenul sulfurat (H₂S), dioxidul de sulf (SO₂), dioxidul de azot (NO₂) și ozonul (O₃). Tehnologia amperometrică utilizată în senzori oferă o sensibilitate crescută la concentrațiile scăzute ale acestor gaze, fiind ideală pentru detectarea în timp real a poluării atmosferice. Senzorii sunt dotați cu funcționalități avansate, precum compensarea automată pentru sensibilitatea la variațiile de

temperatură și presiune, ceea ce asigură rezultate precise chiar și în condiții de mediu schimbătoare.

Conexiunea și transmiterea datelor se realizează prin intermediul protocolului UART, care facilitează integrarea rapidă a modulelor în rețelele IoT și sistemele de monitorizare inteligente. Acest protocol asigură o comunicare rapidă și eficientă între senzori și unitățile centrale de procesare, permițând colectarea și analiza datelor în timp real. Funcția de precalibrare din fabrică reduce semnificativ timpul și costurile de instalare, făcând din acești senzori soluții convenabile pentru aplicații critice.

Prin combinarea performanței ridicate, a preciziei și a fiabilității, modulele din seria DGS reprezintă o componentă esențială în sisteme avansate de monitorizare a calității aerului. Ele permit detectarea timpurie a nivelurilor periculoase de poluanți, contribuind astfel la prevenirea riscurilor pentru sănătate și la gestionarea eficientă a calității aerului în diferite medii [115].

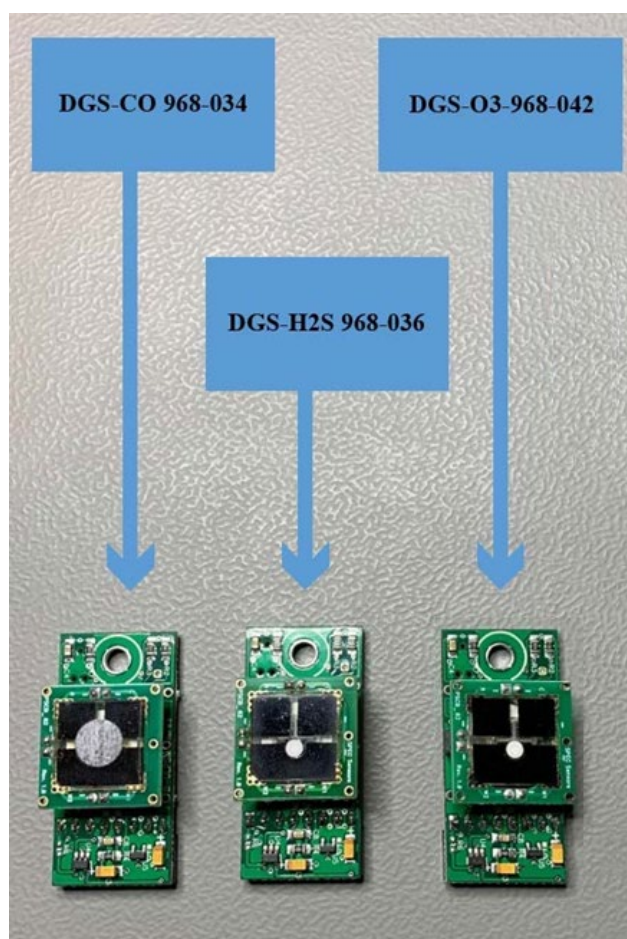


Figura 4.3. Detecorii achiziționați de la SPEC Sensors

Tabel 4.3. Caracteristicile detectorului DGS-CO 968-034

Domeniul de Măsurare	0 – 1000 ppm
Rezoluție	0,1 ppm
Acuratețe după Reglarea la Zero	± 1 ppm
Acuratețea de Măsurare	15% din măsurătoare
Repetabilitatea Măsurătorii	$< \pm 3\%$ din măsurătoare sau 2 ppm
Timpul de Răspuns T90 (pas de 100 ppm)	< 30 de secunde (în general 15 secunde)
Alimentare	$V+ = 3,3$ V; $I = 4$ mA (max)
Puterea Consumată	1 mW în cazul măsurătorilor declanșate la interval de 1 minut, iar 12 mW în cazul măsurătorilor continue la intervale de 5, 10, 30, 60 de secunde
Durata de Operare Estimată	> 5 ani (10 ani @ 25 ± 10 °C; $60 \pm 30\%$ RH)
Intervalul de Temperatură pentru Operare	$-20 - 40$ °C ($-30 - 55$ °C operare intermitentă)
Intervalul de Umiditate pentru Operare	15 – 95% (0 – 100% operare intermitentă fără condensare)
Protocolul de Comunicare	UART

Tabel 4.4. Caracteristicile detectorului DGS-H2S 968-036

Domeniu de Măsurare	0 – 10 ppb
Rezoluție	10 ppb
Acuratețea de Măsurare	15% din măsurătoare
Repetabilitatea Măsurătorilor	$< \pm 3\%$ din măsurătoare
Timpul de Răspuns T90 (pas de 100 ppm)	< 30 de secunde
Alimentare	$V+ = 3,3$ V; $I = 4$ mA (max)
Puterea Consumată	1 mW în cazul măsurătorilor declanșate la interval de 1 minut, iar 12 mW în cazul măsurătorilor continue la intervale de 5, 10, 30, 60 de secunde

Durata de Operare Estimată	> 5 ani (10 ani @ 25 ± 10 °C; 60 ± 30% RH)
Intervalul de Temperatură pentru Operare	-20 – 40 °C (-30 – 55 °C operare intermitentă)
Intervalul de Umiditate pentru Operare	15 – 95% (0 – 100% operare intermitentă fără condensare)
Protocolul de Comunicare	UART

Tabel 4.5. Caracteristicile detectorului DGS-O3 968-042

Domeniu de Măsurare	0 – 5 ppm
Rezoluție	20 ppb
Acuratețea de Măsurare	15% din măsurătoare
Repetabilitatea Măsurărilor	< ± 3% din măsurătoare
Timpul de Răspuns T90 (pas de 100 ppm)	< 30 de secunde
Alimentare	V+ = 3,3 V; I = 4,3 mA (max)
Puterea Consumată	100 μW în standby și 14 mW în operare
Durata de Operare Estimată	> 5 ani (10 ani @ 25 ± 10 °C; 60 ± 30% RH)
Intervalul de Temperatură pentru Operare	-20 – 40 °C (-30 – 55 °C operare intermitentă)
Intervalul de Umiditate pentru Operare	15 – 95% (0 – 100% operare intermitentă fără condensare)
Protocolul de Comunicare	UART

Caracteristicile detectorilor proveniți de la SPEC Sensors, în condițiilor standard de testare:

25°C, 50% RH și 1 atm, se regăsesc în Tabelele 4.6 – 4.8 [115].

Tabel 4.6. Sensibilitate Încrucișată DGS-CO 968-034

Gaz/ Vapor	Concentrație Aplicată (ppm)	Răspuns tipic al Detectorului (ppm)
Monoxid de Carbon	400	400
Hidrogen	100	17
Alcool Izopropilic	200	1,3
Dioxid de Carbon	5000	< 1

Metan	3000	< 1
n-Heptan	500	< 1
Acetonă	200	< 1
Toluen	200	< 1
Amoniac	100	< 1
Hidrogen Sulfurat	25	< 1
Dioxid de Sulf	20	< 1
Clor	10	< 1
Dioxid de Azot	10	< 1
Ozon	5	< 1

Tabel 4.7. Sensibilitate Încrucișată DGS-H2S 968-036

Gaz/ Vapor	Concentrație Aplicată (ppm)	Răspuns tipic al Detectorului (ppm)
Metan	500	0,1
n-Heptan	500	< 0,05
Monoxid de Carbon	400	1,1
Amoniac	100	0,1
Oxid de Azot	50	1,2
Dioxid de Sulf	20	1,7
Clor	10	-2,2
Dioxid de Sulf	10	-2
Hidrogen Sulfurat	10	10
Ozon	5	-0,9

Tabel 4.8. Sensibilitate Încrucișată DGS-O3 968-042

Gaz/ Vapor	Concentrație Aplicată (ppm)	Răspuns tipic al Detectorului (ppm)
Ozon	5	5
n-Heptan	1000	< -0.1
Metan	500	< 0,05
Monoxid de Carbon	400	< 0,05
Hidrogen Sulfurat	25	-5
Clor	10	10
Dioxid de Azot	5	5

4.1.4 Modulul de comunicare

Modulul **ESP-01S** (Figura 4.4) este o soluție compactă și eficientă pentru dispozitive care nu dispun de conectivitate Wi-Fi integrată, oferind posibilitatea de a transmite și recepționa date prin intermediul protocoalelor **IEEE 802.11 b/g/n**. Acest modul este utilizat pe scară largă în aplicațiile IoT datorită dimensiunilor sale reduse, a costului accesibil și a funcționalităților avansate. Modulul ESP-01S permite interfațarea cu dispozitive externe prin diverse magistrale de comunicare, cum ar fi **SPI/SDIO** sau **I2C/UART**, ceea ce îl face extrem de versatil pentru o gamă variată de aplicații [118].

Figura 4.4 ilustrează aspectul fizic al modului ESP-01S, iar Tabelul 4.9 prezintă caracteristicile sale tehnice detaliate. Acestea includ protocoalele Wi-Fi acceptate, frecvențele de operare, standardele de securitate și criptare, precum și specificațiile legate de consumul de energie și domeniul de temperatură în care poate funcționa.



Figura 3.9. Modulul ESP-01S

Tabel 4.9. Caracteristicile Modulului ESP-01S [118]

Protocoale Wi-Fi	802.11 b/g/n
Frecvențe de operare Wi-Fi	2,4 GHz – 2,5 GHz
Securitate	WPA/ WPA2
Criptare	WEP/ TKIP/ AES
Protocoale Rețea	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP

Magistrale de Comunicare	UART/ HSPI/ I ² C/I ² S
Tensiune de Alimentare	3,3 V
Curent de Alimentare	80 mA ~170 mA (max)
Temperatura de Operare	20 °C (Recomandat) - 40 – 125 °C

Tabelul 4.9 corespunde caracteristicilor modului ESP-01S.

4.1.4 Modulul de comunicare

Placa de dezvoltare **Arduino Mega 2560** (Figura 4.10) este una dintre cele mai avansate platforme din ecosistemul Arduino, fiind construită în jurul microcontrolerului **Atmega2560**. Aceasta este proiectată special pentru aplicații care necesită un număr mare de pini de intrare/ieșire, mai multe porturi de comunicare serială și o capacitate extinsă de memorie pentru stocarea și executarea codului. Cu funcționalități extinse și un design robust, Arduino Mega 2560 este ideal pentru proiecte complexe din domenii precum automatizările industriale, robotică, monitorizare a mediului și prototipare IoT [120].

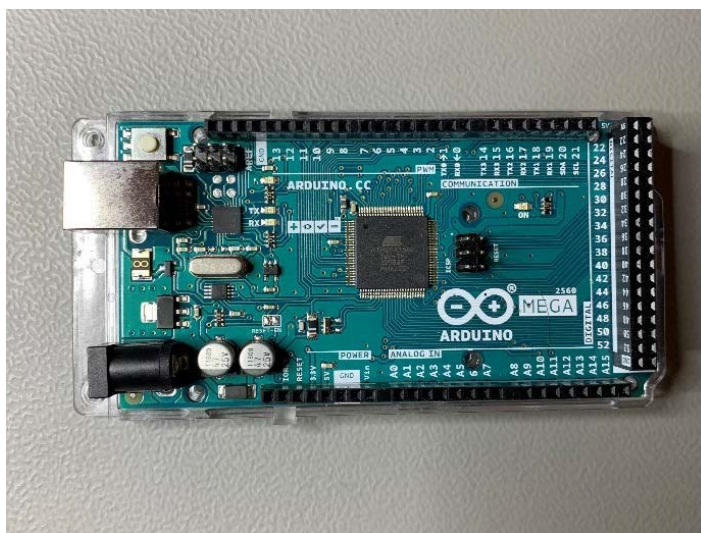


Figura 4.10. Placa de dezvoltare Arduino Mega 2560 REV3

Tabel 4.10. Caracteristicile Plăcii de dezvoltare Mega 2560 REV3 [120]

Arhitectură Microcontroler	AVR (8 biți)
Pini Digitali I/O	54 (dintre care 15 asigură funcționalitate PWM)
Pini Analogici de Intrare	16
Curent Continuu per Pin I/O	20 mA
Curent Continuu pentru Pinul de 3,3 V	50 mA
Memorie Flash	256 KB din care 8 KB sunt utilizați de către bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Frecvența Ceasului	16 MHz
Interfețe de Comunicare	USB (1) UART (4) I ² C (2) SPI (1)
Tensiunea de Operare	5 V
Tensiunea de Alimentare Recomandată	7 – 12 V

4.2. Componentele software

Partea software este responsabilă de prelucrarea, stocarea și afișarea datelor colectate de sistemul hardware. Aceasta cuprinde:

- **Interfața de utilizator:** O aplicație mobilă (iOS/Android) care afișează datele colectate sub formă grafică și numerică. Aplicația permite utilizatorilor să vizualizeze nivelurile parametrilor monitorizați și să primească alerte atunci când aceștia depășesc pragurile de siguranță.
- **Platforma de stocare a datelor:** Datele sunt transmise prin rețeaua Wi-Fi către un server (cum ar fi Blynk), unde sunt stocate și procesate pentru analize ulterioare.
- **Algoritmi de procesare:** Software-ul integrează algoritmi pentru interpretarea datelor, detectarea anomaliilor și generarea alertelor automate.

Sinergia între hardware și software

Integrarea eficientă a componentelor hardware și software este esențială pentru funcționarea sistemului de monitorizare. Senzorii furnizează date în timp real, microcontrolerul le procesează și le transmite către platforma de stocare, iar utilizatorii pot accesa aceste informații printr-o interfață prietenoasă, facilitând astfel luarea unor decizii informate pentru îmbunătățirea calității aerului.

Prin această implementare, sistemul devine un instrument puternic pentru monitorizarea și gestionarea calității aerului interior, contribuind la crearea unui mediu sănătos și sigur pentru utilizatori.

Arduino IDE este un software open-source utilizat pentru scrierea și încărcarea codului pe placa de dezvoltare [20]. Este compatibil cu orice placă Arduino și funcționează pe toate sistemele de operare. Conectarea plăcii la computer se face printr-un cablu USB A-B, conectându-l la portul USB al plăcii și la portul USB al computerului, și selectând placa corespunzătoare în software-ul Arduino. Acest software este folosit pentru programarea și încărcarea codului pe placa Arduino Nano.

Interfața Arduino IDE include o bară de meniu cu instrumente pentru conectarea plăcii și editarea fișierelor, o bară de instrumente pentru verificarea, încărcarea și salvarea codului, un editor de text pentru scrierea codului și un panou de ieșire pentru afișarea erorilor și avertismentelor. Figura 4.11 ilustrează interfața software-ului Arduino IDE.

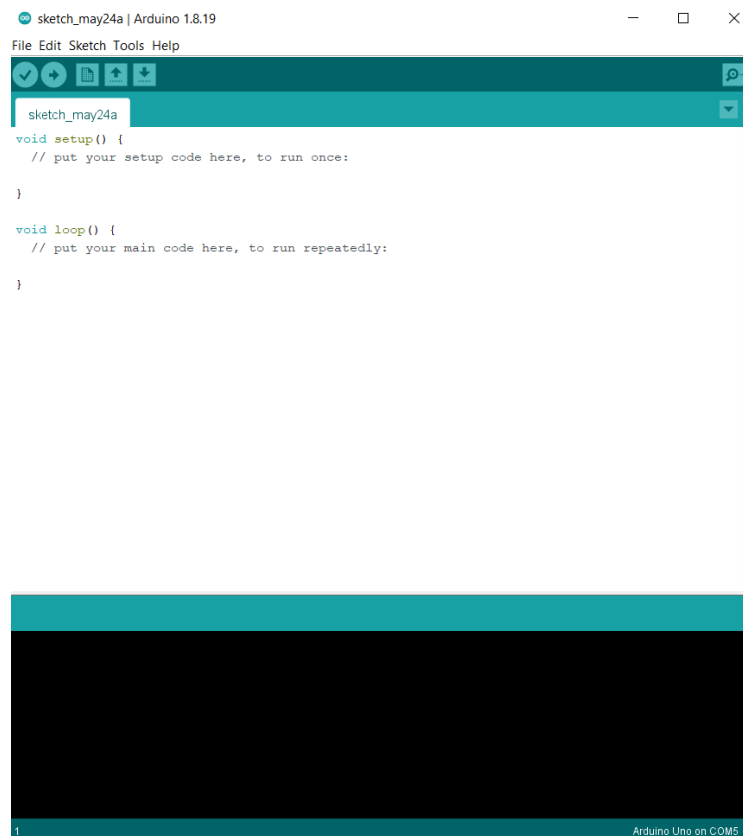


Fig. 4.11 Interfața Arduino

Fritzing este o platformă open-source destinată dezvoltării și simulării proiectelor electronice [21]. Acest software permite utilizatorilor să creeze și să simuleze conexiunile între componente, să scrie și să încarce codul pe placa de dezvoltare, și să optimizeze funcționarea proiectului. Fritzing este utilizat pentru elaborarea schemei fizice a conexiunilor între componente, precum și pentru simularea funcționării circuitului.

Interfața Fritzing include o bară de meniu pentru editarea și vizualizarea proiectului, o bară care permite selectarea modului de vizualizare (Breadboard - pentru vizualizarea fizică a componentelor, Schematic - pentru vizualizarea legăturilor între pini și componente, PCB - pentru vizualizarea circuitului imprimat și Code - pentru introducerea și vizualizarea codului), și o bară verticală cu componente și specificațiile acestora, din care se pot selecta și adăuga componente în proiect. Figura 4.12 ilustrează interfața software-ului Fritzing.

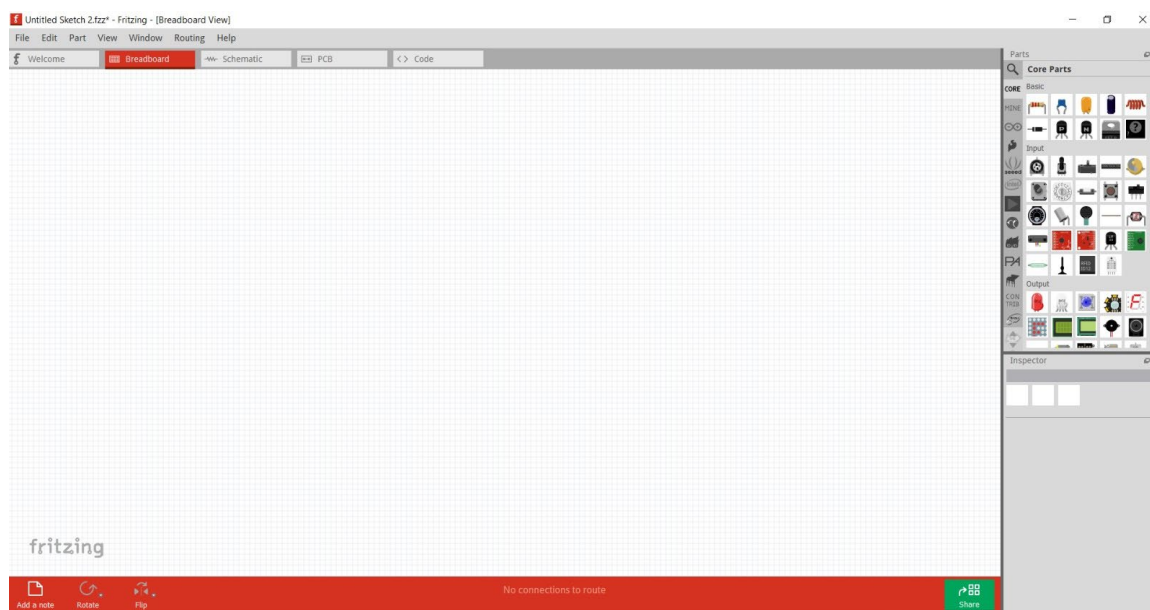


Fig. 4.12 Interfața Fritzing

Blynk este o platformă IoT care permite controlarea de la distanță a dispozitivelor electronice prin aplicații iOS sau Android. Furnizează un panou și o paletă de widgeturi prin intermediul cărora se poate crea interfața grafică cu utilizatorul și se poate defini funcționalitatea aplicației. Blynk permite stocarea și afișarea datelor provenite de la senzori și pune la dispoziție librării pentru cele mai populare plăci de dezvoltare precum: Arduino, NodeMCU ESP8266, Raspberry Pi, Sparkfun etc. Așadar elementele esențiale ale Blynk sunt: aplicația, serverul și librăriile. Aplicația permite crearea interfeței cu utilizatorul, serverul este responsabil de transmiterea datelor între aplicație și sistem, iar librăriile asigură comunicarea între hardware și server folosind comenzi specifice [121][122].

4.3 Arhitectura Sistemului de Monitorizare a CAI

Figura 4.13 prezintă arhitectura detaliată a sistemului IoT de monitorizare a Calității Aerului Interior (CAI), care este organizată în trei nivele funcționale principale, așa cum este ilustrat în Figura 4.14.

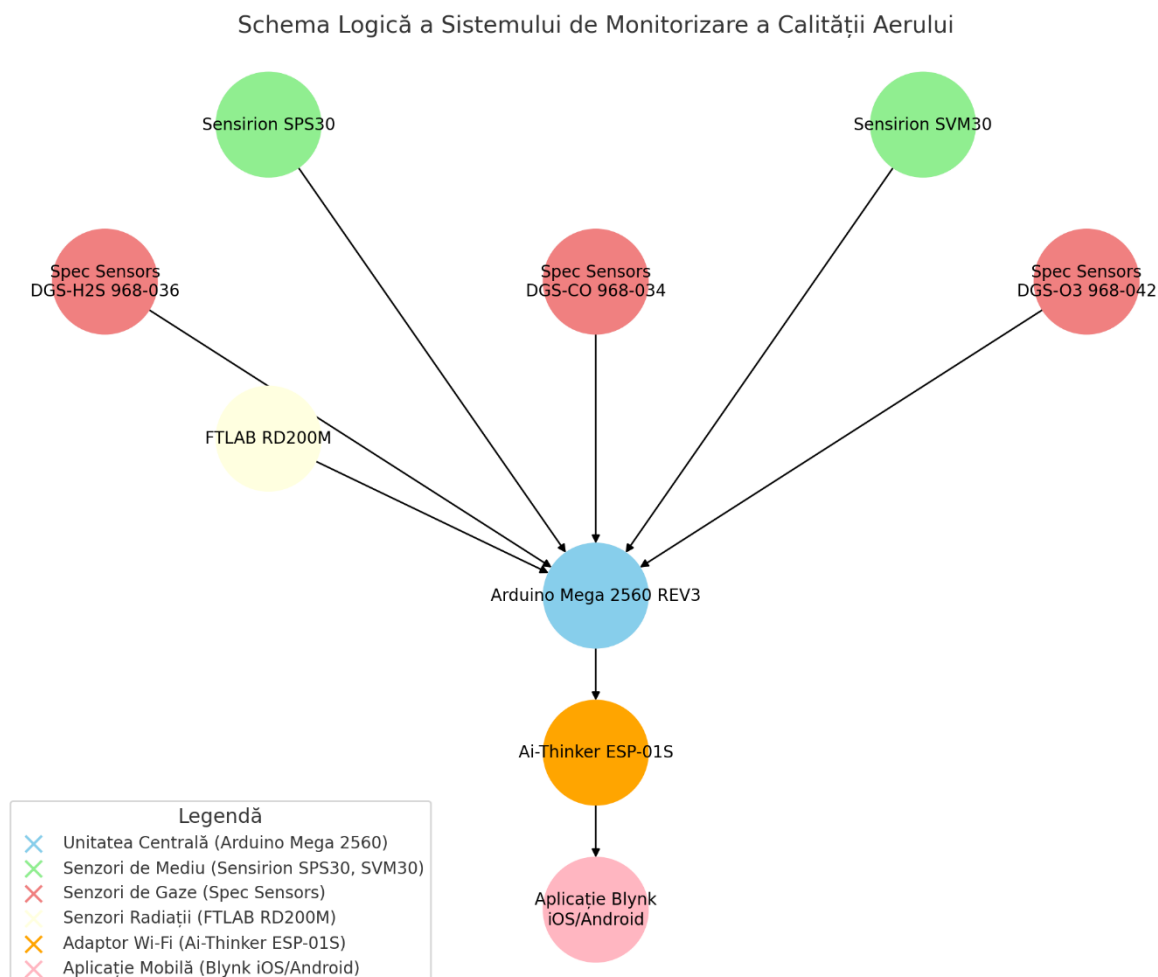


Figura 4.13. Arhitectura sistemului IoT de monitorizare

1. Nivelul	Senzorilor	(Nivelul 1)
------------	------------	-------------

Acest nivel reprezintă partea de achiziție a datelor din mediu, fiind compus dintr-o serie de senzori avansați conectați la unitatea centrală **Arduino Mega 2560**. Componentele de la acest nivel includ:

- **Sensirion SPS30 și SVM30**, care monitorizează particulele PM și parametrii de gaz, precum CO₂ și TCOV.
- **Spec Sensors DGS-H2S, DGS-CO, și DGS-O3**, care detectează gazele periculoase, cum ar fi H₂S, CO, și ozon.
- **FTLAB RD200M**, specializat în detectarea radonului.

Acest nivel se ocupă de colectarea în timp real a datelor brute despre mediu și transmiterea lor către nivelul următor pentru procesare.

2. Nivelul Procesării și Comunicației (Nivelul 2)

Acest nivel este centrat pe **Arduino Mega 2560**, care acționează ca unitatea centrală de procesare a datelor colectate de la senzori. Microcontrolerul se conectează la modulul **Ai-Thinker ESP-01S**, care permite transmiterea datelor procesate către rețelele Wi-Fi. Datele sunt prelucrate, organizate și pregătite pentru transmitere, iar sistemul implementează compensări pentru variațiile de temperatură și umiditate, asigurând acuratețea informațiilor transmise.

3. Nivelul Aplicațiilor (Nivelul 3)

La acest nivel, datele procesate sunt transmise către **aplicația mobilă Blynk** (disponibilă pe iOS și Android), prin intermediul modulului Wi-Fi. Aplicația Blynk afișează utilizatorilor informațiile sub formă de grafice și valori numerice și generează alerte atunci când nivelurile de poluare depășesc pragurile de siguranță.

Această arhitectură modulară și scalabilă permite o monitorizare precisă și eficientă a calității aerului, oferind utilizatorilor finali acces rapid și intuitiv la informațiile relevante. Schema logică colorată, prezentată anterior, detaliază conexiunile dintre componentele de la fiecare nivel, subliniind relațiile dintre senzori, unitatea centrală și aplicațiile de utilizator.

5. REZULTATE

Schema (figura 5.1) reprezintă circuitul electronic utilizat pentru sistemul IoT bazat pe o placă de prototipare și controlat de un Arduino Mega 2560. Placa de prototipare este utilizată pentru conectarea și interfațarea componentelor, distribuind tensiunea și semnalele între ele. Arduino Mega 2560 acționează ca unitatea centrală care colectează datele de la senzori și gestionează funcționarea sistemului. Senzorii conectați includ DGS-CO, DGS-H2S și DGS-NO2 pentru detectarea gazelor periculoase, SPS30 pentru măsurarea particulelor PM2,5 și PM10, precum și SVM30 pentru detectarea dioxidului de carbon și a compușilor organici volatili. Modulul Wi-Fi ESP-01S este integrat pentru a permite transmiterea datelor către o aplicație mobilă sau o platformă cloud. Conexiunile sunt realizate prin fire colorate, unde roșul reprezintă tensiunea pozitivă, negrul masa, iar firele galbene și verzi sunt utilizate pentru transmiterea semnalelor. Circuitul este alimentat de o sursă externă conectată la breadboard și Arduino, asigurând funcționarea tuturor componentelor. Sistemul este configurat pentru a testa și prototipa monitorizarea calității aerului printr-o abordare modulară și scalabilă.

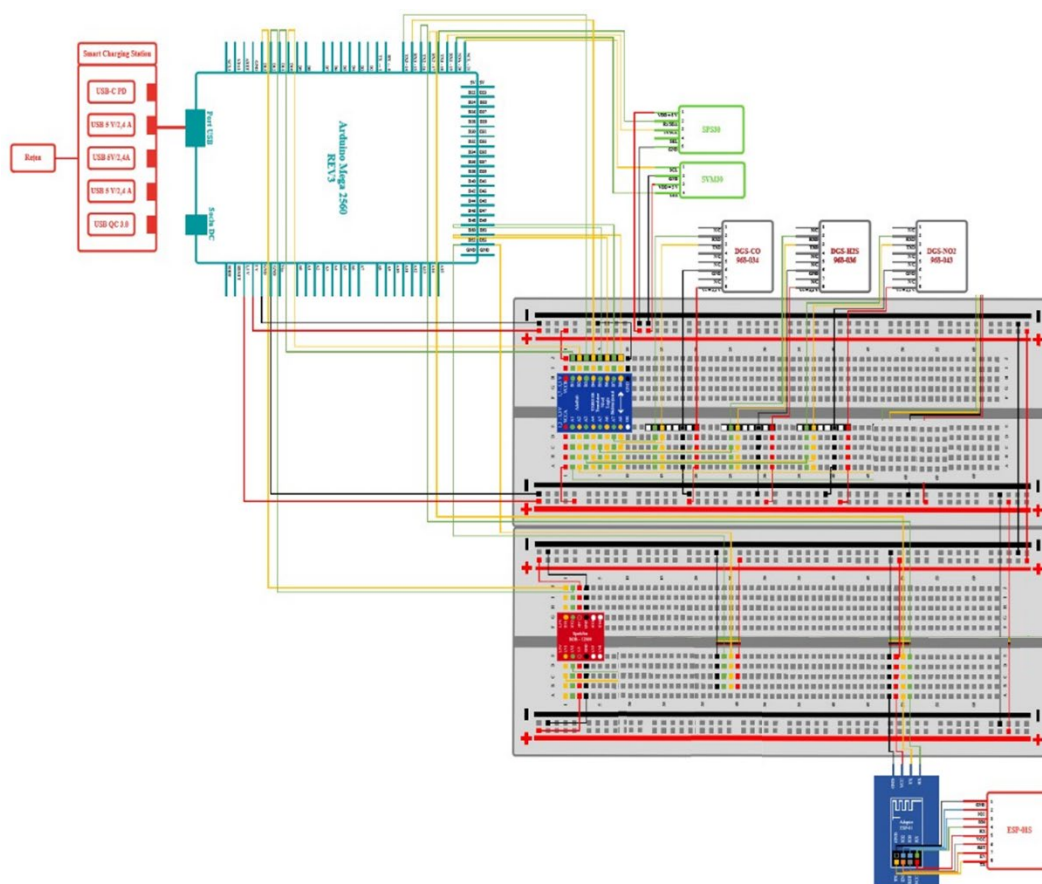


Figura 5.1. Arhitectura sistemului de monitorizare

Figura 5.3 ilustrează valorile poluanților monitorizați de sistem, împărțite în funcție de senzorii utilizați. Valorile inițiale afișate sunt generate de senzorul **SPS30**, care măsoară concentrația masică (în $\mu\text{g}/\text{m}^3$) și numerică (în $\text{counts}/\text{cm}^3$) a particulelor PM1.0, PM2.5, PM4.0, PM10, precum și dimensiunea medie a particulelor (în μm). Deși SPS30 furnizează toți acești parametri, analiza a fost limitată la nivelurile de **PM2.5** și **PM10**, aceștia fiind cei mai relevanți pentru monitorizarea calității aerului. **SVM30** monitorizează concentrația de **CO2** (în ppm), nivelurile de **TCOV** (în ppb), **temperatura** (în $^{\circ}\text{C}$), **umiditatea relativă** și **umiditatea absolută** (în %). Totuși, în aplicația mobilă a fost afișată doar umiditatea relativă, considerată suficientă pentru această aplicație. Senzorii SPEC Sensors măsoară concentrațiile de **CO**, **H2S**, **NO2**, **O3** și **SO2**, exprimate în ppb. Inițial, aceste valori sunt afișate ca 0, urmând să se stabilizeze după primele măsurători.

```

COM8
19:11:42.112 -> Resetting sensors
19:11:47.157 ->
19:11:47.157 -> STARTING MEASUREMENTS
19:11:47.157 ->
19:11:47.348 -> *****
19:11:47.348 ->
19:11:47.348 -> -----Mass -----      ----- Number -----      -Average-
19:11:47.348 ->      Concentration [µg/m3]      Concentration [# /cm3]      [µm]
19:11:47.348 ->      PM1.0  PM2.5  PM4.0  PM10  PM0.5  PM1.0  PM2.5  PM4.0  PM10  PartSize
19:11:47.348 ->      9.53   10.08   10.08   10.08   64.75   75.66   76.05   76.07   76.09   0.58
19:11:47.395 ->
19:11:47.538 -> CO2 Equivalent: 400 ppm, TVOC: 0 ppb, Temperature: 27.36°C, Humidity: 50.86 %RH, Absolute Humidity: 13.36 %
19:11:47.538 ->
19:11:56.006 -> CO level is 0 ppb
19:11:56.006 -> H2S level is 0 ppb
19:11:56.006 -> NO2 level is 0 ppb
19:11:56.006 -> O3 level is 0 ppb
19:11:56.006 -> SO2 level is -1462 ppb
19:11:56.006 ->
19:11:56.006 ->
19:11:56.006 -> RD200M
19:11:56.006 -> 0.34 pCi/L ( 17 min up))
19:12:14.190 -> *****
19:12:14.190 ->
19:12:14.190 -> -----Mass -----      ----- Number -----      -Average-
19:12:14.190 ->      Concentration [µg/m3]      Concentration [# /cm3]      [µm]
19:12:14.190 ->      PM1.0  PM2.5  PM4.0  PM10  PM0.5  PM1.0  PM2.5  PM4.0  PM10  PartSize
19:12:14.190 ->      11.85   12.53   12.53   12.53   80.53   94.10   94.58   94.61   94.63   0.52
19:12:14.190 ->
19:12:14.382 -> CO2 Equivalent: 400 ppm, TVOC: 0 ppb, Temperature: 27.09°C, Humidity: 50.17 %RH, Absolute Humidity: 12.98 %
19:12:14.382 ->
Autoscroll  Show timestamp
Newline  115200 baud  Clear output

```

Figura 5.3. Valorile în timp real ale parametrilor monitorizați

Figura 5.4 prezintă capturi din aplicație, care afișează nivelurile parametrilor monitorizați de sistem prin trei tipuri de reprezentare: grafică, gauge și numerică clasică. Reprezentarea grafică permite vizualizarea evoluției în timp a poluanților monitorizați. Pe axa Ox este reprezentat timpul, în timp ce axa Oy indică nivelurile poluanților, valorile de pe această axă fiind scalate automat în funcție de concentrațiile detectate. Utilizatorii pot selecta diferite plaje de timp pentru analiză, inclusiv în timp

real, 15 minute, 30 de minute, 1 oră, 6 ore și 12 ore, iar datele sunt păstrate în istoricul aplicației pentru o perioadă prestabilită.

Reprezentarea de tip gauge oferă o modalitate intuitivă de a interpreta datele, utilizând scale circulare în care valorile minime și maxime sunt corespunzătoare domeniului de măsurare al fiecărui senzor. Această metodă permite o interpretare rapidă a concentrațiilor monitorizate, fiind utilă în situațiile în care timpul de reacție este critic.

În cazul reprezentării numerice clasice, aplicația afișează parametrii monitorizați sub formă de valori directe. În exemplul din imagine, se observă concentrațiile de monoxid de carbon (CO) în ppm, dioxid de carbon (CO₂) în ppm, hidrogen sulfurat (H₂S) în ppm, ozon (O₃) în ppm, particulele PM_{1.0}, PM_{2.5}, PM_{4.0} și PM₁₀ în μg/m³, dioxid de sulf (SO₂) în ppb, compușii organici volatili totali (TCOV) în ppb, nivelurile de radon în pCi/L, temperatura în grade Celsius și umiditatea relativă în procente. Valoarea fiecărui parametru este actualizată în timp real, oferind utilizatorului o imagine precisă și detaliată a calității aerului din mediu.

Se remarcă variații în valorile monitorizate, cum ar fi creșterea concentrației de CO₂ de la 400 ppm la 696 ppm sau fluctuațiile în temperatura și umiditatea relativă, de la 27.4 °C și 50.9% la 26.9 °C și 53.7%. Aceste variații sunt reprezentative pentru modificările în condițiile de mediu și demonstrează funcționalitatea în timp real a sistemului. Designul aplicației permite utilizatorilor să navigheze ușor între modurile de afișare și să interpreteze rapid datele monitorizate.

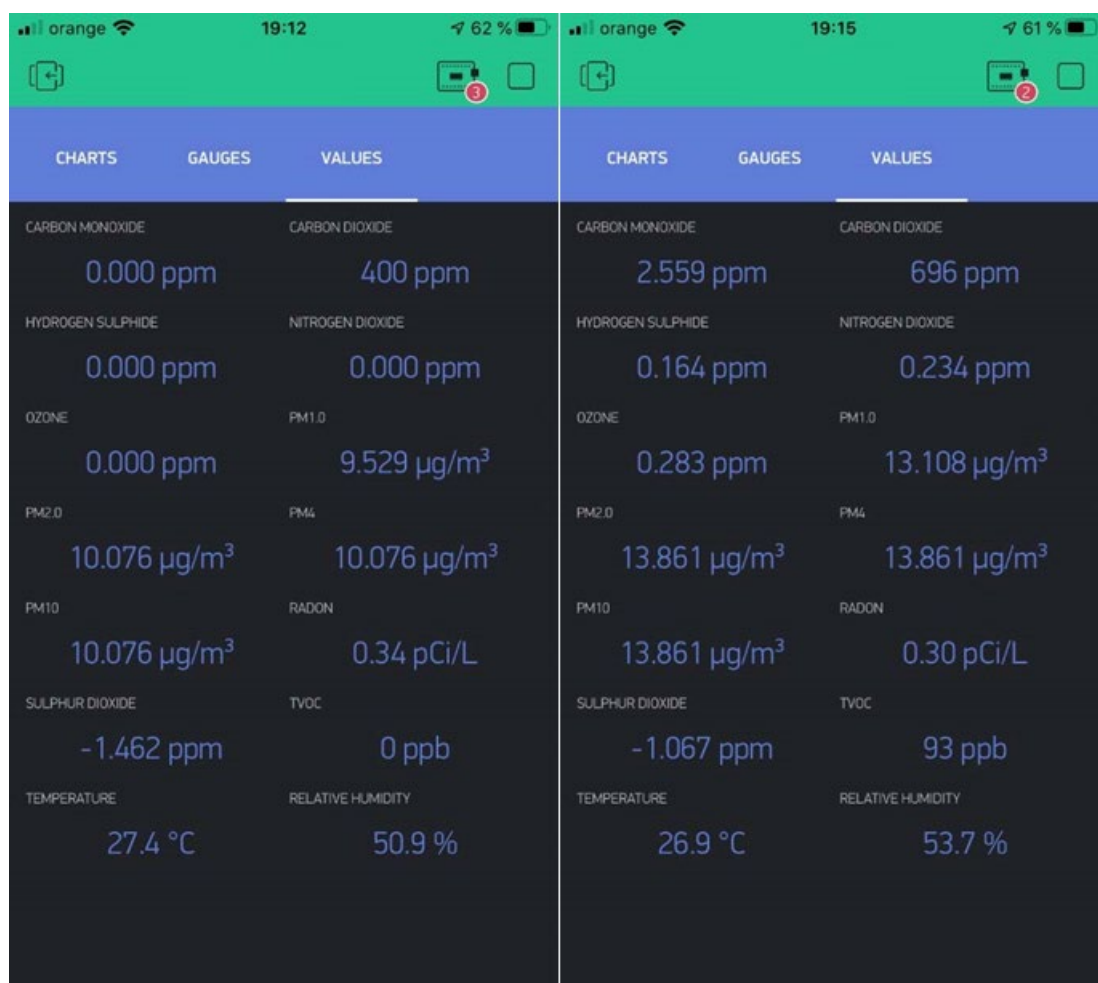


Figura 5.4. Valorile în timp real afișate pe aplicația

6. Rezultate publicate

1. **Adochiei, F. -C.**, Arghir, S. -N., Adochiei, I. R., Argatu, F. C., Seritan, G. C., & Alexandrescu, B. (2024). *The Power of Play: Strategies for Enhancing Development in Children with Autism Spectrum Disorders*. *Sensors*, 24(20), 6720. <https://doi.org/10.3390/s24206720>, **Factor de impact 3.4, Revista cotata Q2**
2. Pietraru, R. N., Olteanu, A., Adochiei, I. -R., & Adochiei, F. -C. (2024). *Reengineering Indoor Air Quality Monitoring Systems to Improve End-User Experience*. *Sensors*, 24(8), 2659. <https://doi.org/10.3390/s24082659>, **Factor de impact 3.4, Revista cotata Q2**
3. Arghir, S.N., Adochiei, I.R., Petroiu, G., Stirbu, OI., Argatu, F.C., **Adochiei, FC.** (2024). *Exploring Emotions: Play-Based Interventions for Children with Autism Spectrum Disorders*. In: Costin, HN., Magjarević, R., Petroiu, G.G. (eds) *Advances in Digital Health and Medical Bioengineering*. EHB 2023. IFMBE Proceedings, vol 111. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62523-7_8, **Indexata ISI**
4. Manea, A., Argatu, F.C., Seritan, G.C., Enache, B.A., Adochiei, I.R., **Adochiei, F.C.** (2024). *Intelligent Monitoring System for Stress Levels*. In: Costin, HN., Magjarević, R., Petroiu, G.G. (eds) *Advances in Digital Health and Medical Bioengineering*. EHB 2023. IFMBE Proceedings, vol 111. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62523-7_7, **Indexata ISI**
5. Ciucu, R., Adochiei, I.R., Argatu, F.C., Nicolescu, S.T., Petroiu, G., **Adochiei, FC.** (2024). *Enhancing Super-Resolution Microscopy Through a Synergistic Approach with Generative Machine Learning Models*. In: Costin, HN., Magjarević, R., Petroiu, G.G. (eds) *Advances in Digital Health and Medical Bioengineering*. EHB 2023. IFMBE Proceedings, vol 110. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62520-6_36, **Indexata ISI**
6. Paraschiv, T., Bănică, C.K., Paraschiv, R., Nicolescu, S.T., Ignat, A., **Adochiei, FC.** (2024). *Validation of the Anxiety Assessment Method Employing the g.TEC Unicorn Hybrid Black Alongside Psychological Testing*. In: Costin, HN., Magjarević, R., Petroiu, G.G. (eds) *Advances in Digital Health and Medical Bioengineering*. EHB 2023. IFMBE Proceedings, vol 110. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62520-6_37, **Indexata ISI**
7. Adochiei, IR., Paraschiv, R., Petroiu, G., Sultana, A., Duta, S., **Adochiei, F.** (2024). *Exploring EEG Patterns as Indicators of Stress: A Comprehensive Study*. In: Costin, HN., Magjarević, R., Petroiu, G.G. (eds) *Advances in Digital Health and Medical Bioengineering*. EHB 2023. IFMBE Proceedings, vol 110. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62520-6_40, **Indexata ISI**

8. **Felix – Constantin ADOCHIEI**, David-Andrei DUMITRESCU, George Calin SERITAN, Florin Ciprian ARGATU, Bogdan - Adrian ENACHE, Ioana – Raluca ADOCHIEI, *IoT-Based Real-Time Electrocardiogram Monitoring and Recording System”, The 12th International Conference on E-Health and Bioengineering - EHB 2024, Iasi, ROMANIA, <https://doi.org/10.1007/979-8-3315-3214-7/24>,*
9. Ioana – Raluca ADOCHIEI, Matei POPESCU, Florin Ciprian ARGATU, Gladiola Petroiu, **Felix – Constantin ADOCHIEI**, *“Intraocular Pressure Determining System Based on Rebound Tonometry”, The 12th International Conference on E-Health and Bioengineering - EHB 2024, Iasi, ROMANIA, <https://doi.org/10.1007/979-8-3315-3214-7/24>,*
10. Oana-Isabela Stirbu, Serban Teodor Nicolescu, Ioana Raluca Adochiei, Cosmin Karl Banica, Daniela Anamaria Dolhascu, **Felix – Constantin Adochiei**, *“AI Algorithm for Assessing Levels of Dissimulation through EEG and Physiological Data Analysis”, The 12th International Conference on E-Health and Bioengineering - EHB 2024, Iasi, ROMANIA, <https://doi.org/10.1007/979-8-3315-3214-7/24>,*

Concluzii

Sistemul realizat reprezintă o soluție inovatoare și practică pentru monitorizarea calității aerului utilizând tehnologii IoT avansate. Acesta integrează senzori specializați, conectivitate Wi-Fi, o aplicație mobilă intuitivă și o arhitectură hardware modulară bazată pe placa Arduino Mega 2560, toate optimizate pentru a furniza măsurători în timp real ale parametrilor de mediu critici. Hardware-ul sistemului se bazează pe o serie de senzori de înaltă precizie, printre care SPS30, SVM30 și modulele SPEC Sensors, care acoperă o gamă largă de parametri esențiali pentru evaluarea calității aerului. Printre aceștia se numără nivelurile de PM2.5 și PM10, concentrațiile de gaze precum CO, H2S, NO2, O3 și SO2, precum și parametri de mediu cum ar fi temperatura, umiditatea relativă și absolută. Calitatea datelor furnizate de acești senzori este garantată prin compensarea automată a temperaturii și umidității, iar resetarea periodică a dispozitivelor asigură eliminarea driftului senzorilor și a efectelor contaminanților reziduali.

Conexiunea Wi-Fi este gestionată de modulul ESP-01S, care permite transmiterea rapidă și sigură a datelor către aplicația mobilă. Acest modul funcționează eficient, asigurând timpi de răspuns reduși și o conectivitate stabilă, esențială pentru funcționarea în timp real a sistemului. În cadrul aplicației mobile, datele sunt prezentate într-un format accesibil utilizatorilor, prin reprezentări grafice, gauge-uri intuitive și afișaje numerice. Reprezentarea grafică oferă o perspectivă temporală detaliată a evoluției parametrilor monitorizați, utilizatorii având posibilitatea de a selecta diferite intervale de timp, cum ar fi 15 minute, 30 de minute, 1 oră sau 12 ore, ceea ce permite analiza tendințelor și identificarea variațiilor critice. Gauge-urile oferă o interpretare rapidă a valorilor, iar afișajul numeric furnizează detalii exacte pentru utilizări mai avansate, cum ar fi raportarea sau analiza comparativă.

Sistemul demonstrează performanțe excelente în detectarea și monitorizarea parametrilor critici ai calității aerului. Senzorii SPS30 și SVM30 au oferit date fiabile pentru particulele în suspensie și gazele comune, în timp ce senzorii SPEC Sensors au arătat capacitatea de a măsura gaze specifice cu precizie electrochimică. Totuși, în unele cazuri, cum ar fi SO2 și H2S, au fost observate valori negative datorate driftului sau calibrării în medii contaminate. Aceste fenomene sunt comune senzorilor electrochimici, dar nu afectează în mod semnificativ funcționalitatea generală a sistemului. Organizarea componentelor pe placa de prototipare a permis realizarea rapidă a conexiunilor și testelor, dar utilizarea unui PCB

personalizat ar putea îmbunătăți durabilitatea sistemului și reduce interferențele electromagnetice.

Pe lângă performanțele sale tehnice, sistemul oferă flexibilitate și scalabilitate, fiind ușor de adaptat pentru aplicații diverse. Arhitectura modulară permite adăugarea unor senzori suplimentari pentru măsurarea altor parametri, cum ar fi formaldehida, metanul sau alte gaze relevante pentru calitatea aerului. În plus, sistemul poate fi integrat în soluții mai complexe, cum ar fi automatizarea sistemelor HVAC sau monitorizarea în rețele inteligente de mediu. Utilizatorii finali, fie că sunt persoane fizice, fie organizații, beneficiază de o soluție accesibilă și eficientă pentru îmbunătățirea calității aerului din locuințe, birouri sau alte spații interioare.

Datele colectate de sistem pot fi utilizate pentru a identifica sursele de poluare, a implementa măsuri preventive și a optimiza condițiile de mediu. Analiza acestora permite, de exemplu, ajustarea ventilației sau a climatizării în funcție de concentrațiile de poluanți, reducând astfel impactul negativ asupra sănătății și productivității. Aplicația mobilă, prin stocarea datelor istorice și funcțiile de alertare, facilitează o monitorizare proactivă, permițând intervenții rapide în cazul depășirii pragurilor de siguranță.

Concluzionând, sistemul IoT de monitorizare a calității aerului realizat în acest proiect reprezintă un exemplu remarcabil de integrare a tehnologiilor hardware și software pentru a răspunde unei nevoi stringente de sănătate publică. Performanța ridicată a senzorilor, conectivitatea stabilă și aplicația mobilă prietenoasă contribuie la realizarea unui sistem complet, fiabil și ușor de utilizat. Proiectul demonstrează posibilitățile oferite de tehnologiile IoT în monitorizarea mediului și deschide calea către soluții mai complexe și mai eficiente pentru îmbunătățirea calității vieții. Având în vedere potențialul de extindere și adaptare, acest sistem poate deveni o componentă centrală în gestionarea mediului interior și protejarea sănătății umane.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *J. Jo, B. Jo, J. Kim, S. Kim, and W. Han*, “Development of an IoT - Based Indoor Air Quality Monitoring Platform,” *Journal of Sensors*, vol. 2020, pp. 13–15, 2020, doi: 10.1155/2020/8749764.
- [2] *Hippocrates*, “Ancient Medicine. Airs, Waters, Places. Epidemics 1 and 3. The Oath. Precepts. Nutriment”, Harvard University Press, 1923.
- [3] *G. Miller*, “Airs, Waters, and Places’ in History” *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, vol. 17, no. 1, pp. 129–140, 1962, doi: 10.1093/jhmas/XVII.1.129.
- [4] *D. Gourevitch*, “Hippocratic Medicine and the Treatise Airs, Waters and Places. A Short History of the Beginnings and Influence of a Scientific Error”, *Medicina nei secoli*, vol. 7, no. 3, pp. 425–433, 1995.
- [5] *B. Sattler*, “Environmental Health”, vol. 4, no. 1. 2003.
- [6] “Encyclopedia of Lifestyle Medicine & Health”, 2012.
- [7] UNICEF, “Clear the Air for Children - The Impact of Air Pollution on Children”, 2016.
- [8] *H. Bachofen*, “Air Pollution”, *Schweizerische Medizinische Wochenschrift*, vol. 123, no. 5, pp. 183–188, 1993.
- [9] World Health Organization, “Ambient Air Pollution: A global Assessment of Exposure and Burden of Disease”, World Health Organization, vol. 3, no. 2, pp. 54–67, 2016, [Online]. Available: <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>.
- [10] *J. S. Kiurski, S. M. Aksentijević, and S. D. Mandarić*, “Statistical Approach for Characterization of Photocopying Indoor Pollution” , *Air Quality, Atmosphere and Health*, vol. 11, no. 7, pp. 867–881, 2018, doi: 10.1007/s11869-018-0595-z.
- [11] US Environmental Protection Agency, “Assessment and Control of Indoor Air Pollution.” pp. 1–250, 1986.
- [12] WHO, “Combined or Multiple Exposure to Health Stressors in Indoor Built Environments - An Evidence-Based Review Prepared for the WHO Training Workshop ‘Multiple Environmental Exposures and Risks’”, no. October, p. 82 pp., 2014.
- [13] *H. Lu, E. Campbell, D. E. Campbell, C. Wang, and H. Ren*, “EPA Public Access”, *Atmospheric Environment*, vol. 23, no. 1994, pp. 248–258, 2017, doi: 10.1016/j.hal.2017.06.001.Submit.

- [14] *M. Kampa and E. Castanas*, “Human Health Effects of Air Pollution” , Environmental Pollution, vol. 151, no. 2, pp. 362–367, 2008, doi: 10.1016/j.envpol.2007.06.012.
- [15] *M. Hadei et al.*, “Indoor and Outdoor Concentrations of BTEX and Formaldehyde in Tehran, Iran: Effects of Building Characteristics and Health Risk Assessment”, Environmental Science and Pollution Research, vol. 25, no. 27, pp. 27423–27437, 2018, doi: 10.1007/s11356-018-2794-4.
- [16] *C. Ren and S. Tong*, “Health Effects of Ambient Air Pollution - Recent Research Development and Contemporary Methodological Challenges”, Environmental Health: A Global Access Science Source, vol. 7, pp. 1–10, 2008, doi: 10.1186/1476-069X-7-56.
- [17] *R. D. Brook*, “Cardiovascular Effects of Air Pollution”, Clinical Science, vol. 115, no. 5–6, pp. 175– 187, 2008, doi: 10.1042/CS20070444.
- [18] *B. Chen and H. Kan*, “Air Pollution and Population Health: A Global Challenge”, Environmental Health and Preventive Medicine, vol. 13, no. 2, pp. 94–101, 2008, doi: 10.1007/s12199-007-0018-5.
- [19] *S. Zhong, Z. Yu, and W. Zhu*, “Study of the Effects of Air Pollutants on Human Health Based on Baidu Indices of Disease Symptoms and Air Quality Monitoring Data in Beijing, China”, International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 16, no. 6, 2019, doi: 10.3390/ijerph16061014.
- [20] *Y. Al horr, M. Arif, M. Katafygiotou, A. Mazroei, A. Kaushik, and E. Elsarrag*, “Impact of Indoor Environmental Quality on Occupant Well-Being and Comfort: A Review of the Literature”, International Journal of Sustainable Built Environment, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2016, doi: 10.1016/j.ijbe.2016.03.006.
- [21] USEPA, “Introduction to Indoor Air Quality: a Reference Manual”, Indoor Air, p. 312 pages, 1991.
- [22] *A. Irvine, C. J. Robert et. al.*, “Indoor Air Pollution Introduction for Health Professionals”, 2012, [Online], Available: http://www.epa.gov/iaq/pdfs/indoor_air_pollution.pdf.
- [23] U. States, “Healthy Buildings, Healthy People: A Vision for the 21st Century”, Indoor Pollution: Types, Risks, and Federal Policies, pp. 103–146, 2012.
- [24] *Y. Zhang*, Indoor Air Quality Engineering, 2004.
- [25] *N. Quan Pham, V. P. Rachim, and W. Y. Chung*, “EMI-Free Bidirectional Real-Time Indoor Environment Monitoring System”, IEEE Access, vol. 7, pp. 5714–5722, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2889793.
- [26] *S. Mad Saad, A. M. Andrew, A. Y. M. Shakaff, A. R. Mohd Saad, A. M. Y. Kamarudin, and A. Zakaria*, “Classifying sources influencing indoor air quality (IAQ) using artificial neural network (ANN),” Sensors (Switzerland), vol. 15, no. 5, pp. 11665–11684, 2015, doi: 10.3390/s150511665.
- [27] *J. Saini, M. Dutta, and G. Marques*, “A Comprehensive Review on Indoor Air Quality Monitoring Systems for Enhanced Public Health”, Sustainable

- Environment Research, vol. 30, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1186/s42834-020-0047-y.
- [28] *R. M. Harrison and R. E. Hester, Eds.*, “Indoor Air Pollution”, The Royal Society of Chemistry, 2019.
 - [29] *A. Cincinelli and T. Martellini*, “Indoor Air Quality and Health”, International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 14, no. 11, 2017, doi: 10.3390/ijerph14111286.
 - [30] *G. Settimo, M. Manigrasso, and P. Avino*, “Indoor Air Quality: A Focus on the European Legislation and State-of-the-Art Research in Italy”, Atmosphere, vol. 11, no. 4, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/ATMOS11040370.
 - [31] *Y. Javadzadeh and S. Hamedeyaz*, “Indoor Air Quality Monitoring for Enhanced Healthy Buildings”, Trends in Helicobacter pylori Infection, vol. i, no. tourism, p. 13, 2014, doi: 10.5772/57353.
 - [32] *A. Larkin and P. Hystad*, “Towards Personal Exposures: How Technology Is Changing Air Pollution and Health Research”, Current environmental health reports, 2017, doi: 10.1007/s40572-017-0163y.
 - [33] *L. Morawska et al.*, “Applications of Low-Cost Sensing Technologies for Air Quality Monitoring and Exposure Assessment: How far Have they Gone?”, Environment International, 2018, doi: 10.1016/j.envint.2018.04.018.
 - [34] “World Health Statistics 2020: Monitoring Health for the SDGs, Sustainable Development Goals”, World Health Organization, 2020.
 - [35] EEA (European Environment Agency), “Assessing Air Quality Through Citizen Science”, no. 19, 2019.
 - [36] European Environment Agency, “Air Quality in Europe — 2019”, 2019.
 - [37] European Court of Auditors, “Air Pollution: Our Health Still Insufficiently Protected”, 2018, doi: 10.2865/80097.
 - [38] EC, “Air Quality: Commission Takes Action to Protect Citizens from Air Pollution”, Press Release, no. May, pp. 30–32, 2018, [Online], Available: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-183450_en.htm.
 - [39] *C. Alpopi and S. E. Colesca*, “Urban Air Quality. A Comparative Study of Major European Capitals”, Theoretical and Empirical Researches in Urban Management, vol. 5, no. 6, pp. 97–107, 2010.
 - [40] European Commission, “The Environmental Implementation Review - Romania”, 2019, doi: 10.2779/518522.
 - [41] “Calitate Aer | Rețeaua Națională de Monitorizare a Calității Aerului”, [Online], Available: http://www.calitateair.ro/public/home-page/?__locale=ro.
 - [42] European Environment Agency, “Air Pollution Country Profile: Romania”, [Online], Available: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2019-country-fact-sheets/romania>.

- [43] *D. Vallero*, “Fundamentals of Air Pollution - Fourth edition”, 2008.
- [44] *P. Saxena and S. Sonwani*, “Criteria Air Pollutants and their Impact on Environmental Health”, 2019.
- [45] *R. M. Harrison and R. Perry, Eds.*, “Handbook of Air Pollution Analysis”, 2nd ed. Springer Netherlands, 1986.
- [46] *I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, and E. Bezirtzoglou*, “Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review”, *Frontiers in Public Health*, vol. 8, no. February, pp. 1–13, 2020, doi: 10.3389/fpubh.2020.00014.
- [47] *C. Change*, “Climate Change, the Indoor Environment, and Health”, 2011.
- [48] Institute of Medicine, “Clearing the Air: Asthma and Indoor Air Exposures (2000)”, Washington DC: National Academies Press, 2000.
- [49] *T. L. Guidotti*, “Indoor Air Pollution: Children’s Health and the Environment”, *Archives of Environmental & Occupational Health*, vol. 62, no. 2, pp. 51–52, Jul. 2008, doi: 10.3200/aeoh.62.2.51-52.
- [50] WHO, “Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants”, WHO Regional Office for Europe, 2010.
- [51] WHO, “WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Household Fuel Combustion”, 2014.
- [52] *M. Gola, G. Settimo, and S. Capolongo*, “Indoor Air Quality in Inpatient Environments: A Systematic Review on Factors that Influence Chemical Pollution in Inpatient Wards” *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/8358306.
- [53] *M. Leung and A. H. S. Chan*, “Control and Management of Hospital Indoor Air Quality”, 2006.
- [54] *M. J. Suess*, “An International Approach to Air Quality Monitoring”, *Atmospheric Environment* (1967), vol. 13, no. 2, pp. 211–221, 1979, doi: 10.1016/0004-6981(79)90164-1.
- [55] *J. Leman*, “Methane”, *Climate & Clean Air Coalition*, p. 9, 2020, [Online]. Available: <https://www.ccacoalition.org/ar/slcp/methane>.
- [56] *Richard K. Lattanzio*, “Methane and Other Air Pollution Issues in Natural Gas Systems”, 2020. [Online]. Available: <https://fas.org/sgp/crs/misc/R42986.pdf>.
- [57] *K. M. Wollin et al.*, “Critical Evaluation of Human Health Risks due to Hydraulic Fracturing in Natural Gas and Petroleum Production”, vol. 94, no. 4. Springer Berlin Heidelberg, 2020.
- [58] Public Health England, “Methane”, 2019.
- [59] *B. Gottlieb and D. Larysa*, “Too Dirty, Too Dangerous: Why Health Professionals Reject Natural Gas: A Report”, 2017. [Online]. Available: <https://www.psr.org/wp-content/uploads/2018/05/toodirty-too-dangerous.pdf>.

- [60] *J. Y. Jo, Y. S. Kwon, J. W. Lee, J. S. Park, B. H. Rho, and W. Il Choi*, “Acute Respiratory Distress due to Methane Inhalation”, *Tuberculosis and Respiratory Diseases*, vol. 74, no. 3, pp. 120–123, 2013, doi: 10.4046/trd.2013.74.3.120.
- [61] *B. Berglund, B. Brunekreef, H. Knoppel, T. Lindvall, M. Molhave, and P. Skov*, “Indoor Air Quality & it’s Impact on Man: Effects of Indoor Air Pollution on Human Health”, 1991.
- [62] *E. Flynn, P. Matz, A. Woolf, and R. Wright*, “Indoor Air Pollutants Affecting Child Health”, p. 201, 2000.
- [63] *K. E. Schaefer*, “Effects of Increased Ambient CO₂ Levels on Human and Animal Health”, *Experientia*, vol. 38, no. 10, pp. 1163–1168, 1982, doi: 10.1007/BF01959726.
- [64] *D. S. Robertson*, “The Rise in the Atmospheric Concentration of Carbon Dioxide and the Effects on Human Health”, *Medical Hypotheses*, doi: 10.1054/mehy.2000.1256, vol. 56, no. 4, pp. 513–518, 2001
- [65] *K. Permentier, S. Vercammen, S. Soetaert, and C. Schellemans*, “Carbon Dioxide Poisoning: a Literature Review of an Often Forgotten Cause of Intoxication in the Emergency Department”, *International Journal of Emergency Medicine*, vol. 10, no. 1, pp. 17–20, 2017, doi: 10.1186/s12245017-0142-y.
- [66] *K. Azuma, N. Kagi, U. Yanagi, and H. Osawa*, “Effects of Low-Level Inhalation Exposure to Carbon Dioxide in Indoor Environments: A Short Review on Human Health and Psychomotor Performance”, *Environment International*, vol. 121, no. June, pp. 51–56, 2018, doi: 10.1016/j.envint.2018.08.059.
- [67] *T. A. Jacobson, J. S. Kler, M. T. Hernke, R. K. Braun, K. C. Meyer, and W. E. Funk*, “Direct Human Health Risks of Increased Atmospheric Carbon Dioxide”, *Nature Sustainability*, vol. 2, no. 8, pp. 691–701, 2019, doi: 10.1038/s41893-019-0323-1.
- [68] *D. R. Tobergte and S. Curtis*, “Liquefied Petroleum Gas (LPG)”, 2016. [Online]. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/561039/liquefied_petroleum_gas_general_information.pdf.
- [69] *S. Abdalla, S. S. Apramian, L. F. Cantley, and M. R. Cullen*, “Occupation and Risk for Injuries”, *Disease Control Priorities, Third Edition (Volume 7): Injury Prevention and Environmental Health*, vol. 7, pp. 97–132, 2017, doi: 10.1596/978-1-4648-0522-6_ch6.
- [70] *N. Kaul, A. B. Gupta, S. Khandelwal, G. Singh, and V. Singh*, “Impact of Exposure to CookingGenerated Air Pollution on Human Respiratory Health: A Case Study of Different Microenvironments of India”, *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 23, no. 8, pp. 1989– 2001, 2017, doi: 10.1080/10807039.2017.1353902.

- [71] K. N. Almulhim, “Fatal Butane Toxicity and Delayed Onset of Refractory Ventricular Fibrillation”, *Saudi Medical Journal*, vol. 38, no. 12, pp. 1250–1254, 2017, doi: 10.15537/smj.2017.12.20811.
- [72] M. Fandiño-Del-Rio *et al.*, “Effects of a Liquefied Petroleum Gas Stove Intervention on Pollutant Exposure and Adult Cardiopulmonary Outcomes (CHAP): Study Protocol for a Randomized Controlled Trial”, *Trials*, vol. 18, no. 1, pp. 1–16, 2017, doi: 10.1186/s13063-017-2179-x.
- [73] L. Studies, “Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals”, vol. 12. 2012.
- [74] O. A. Odunola, E. Uka, K. A. Akinwumi, M. A. Gbadegesin, O. O. Osifeso, and M. D. Ibegbu, “Exposure of Laboratory Mice to Domestic Cooking Gas: - Implications for Toxicity”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 5, no. 3, pp. 172–176, 2008, doi: 10.3390/ijerph5030172.
- [75] J. O. Anderson, J. G. Thundiyil, and A. Stolbach, “Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health”, *Journal of Medical Toxicology*, vol. 8, no. 2, pp. 166–175, 2012, doi: 10.1007/s13181-011-0203-1.
- [76] WHO Regional Office for Europe, “Air Quality Guidelines for Europe: Second Edition”, 2000.
- [77] WHO Regional Office for Europe, “Air Quality Guidelines: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide”, 2005.
- [78] WHO, “Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective”, 2009.
- [79] European Parliament, “Directive 2008/50/EC on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe”, 2008.
- [80] EEA, “European Air Quality Index”, Available: <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>, 2020.
- [81] World Health Organization: Europe, “Health Risks of Air Pollution in Europe – HRAPIE Project”, p. 60, 2013, doi: 10.1021/acs.est.5b05833.
- [82] Parlamentul României, “Legea 104/2011 privind Calitatea Aerului Înconjurător”, pp. 1–59, 2011.
- [83] Rețeaua Națională de Monitorizare a Calității Aerului, “Indici de Calitate”, [Online]. Available: http://www.calitateaer.ro/public/monitoring-page/quality-indices-page/?__locale=ro.
- [84] A. Tiele, S. Esfahani, and J. Covington, “Design and Development of a Low-Cost, Portable Monitoring Device for Indoor Environment Quality”, *Journal of Sensors*, vol. 2018. 2018, doi: 10.1155/2018/5353816.
- [85] H. Hayat *et al.*, “The State-of-the-Art of Sensors and Environmental Monitoring Technologies in Buildings”, *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 17, 2019, doi: 10.3390/s19173648.

- [86] *J. Saini, M. Dutta, and G. Marques*, “A Comprehensive Review on Indoor Air Quality Monitoring Systems for Enhanced Public Health”, *Sustainable Environment Research*, vol. 30, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1186/s42834-020-0047-y.
- [87] *Y. Sung, S. Lee, Y. Kim, and H. Park*, “Development of a Smart Air Quality Monitoring System and its Operation”, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, vol. 13, no. 1, pp. 30–38, 2019, doi: 10.5572/ajae.2019.13.1.030.
- [88] *Z. Idrees, Z. Zou, and L. Zheng*, “Edge Computing Based IoT Architecture for Low Cost Air Pollution Monitoring Systems: A Comprehensive System Analysis, Design Considerations & Development”, *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 9, 2018, doi: 10.3390/s18093021.
- [89] *T. C. Yu and C. C. Lin*, “An Intelligent Wireless Sensing and Control System to Improve Indoor Air Quality: Monitoring, Prediction, and Preaction”, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015, doi: 10.1155/2015/140978.
- [90] *S. Abraham and X. Li*, “A Cost-Effective Wireless Sensor Network System for Indoor Air Quality Monitoring Applications”, *Procedia Computer Science*, vol. 34, pp. 165–171, 2014, doi: 10.1016/j.procs.2014.07.090.
- [91] “Air Mentor 2S”, <https://shop.air-mentor.eu/en/air-mentor/588-air-mentor-2s-4710255181060.html>. “Temtop M2000 2nd Air Quality Monitor with Data Export Function”, [Online], Available:
<https://temtopus.com/>
- [109] “Indoor Air Quality Sensor | uHoo”, <https://uhooair.com/product-2/>.
- [110] “Airthings Wave Plus-Indoor AQM + Radon”, <https://www.airthings.com/en/wave-plus>.
- [111] “Figaro Sensors”, <https://www.figarosensor.com/> (accessed May 23, 2020).
- [112] “FTLAB RD200M”, <http://radonftlab.com/radon-sensor-product/radon-sensor/rd200m/>.
- [113] “Arduino Mega 2560 Rev 3”, <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3> (accessed May 24, 2020).
- [114] *H. Durani, M. Sheth, M. Vaghasia, and S. Kotech*, “Smart Automated Home Application Using IoT with Blynk App,” in *Proceedings of the International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies, ICICCT 2018*, 2018, doi: 10.1109/ICICCT.2018.8473224.
- [115] *P. Serikul, N. Nakpong, and N. Nakjuatong*, “Smart Farm Monitoring via the Blynk IoT Platform : Case Study: Humidity Monitoring and Data Recording”, in *International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, 2019, doi: 10.1109/ICTKE.2018.8612441.