Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA Bucureşti
Facultatea de Ingineria Sistemelor Biotehnice
Școala Doctorală Ingineria Sistemelor Biotehnice
Domeniul Ingineria Mediului

TEZĂ DE DOCTORAT
-REZUMAT-
Monitorizarea emisiilor de CO_2 din zonele umede periurbane în contextul schimbărilor climatice

Conducător științific:
CSI Ph.D Habil. Dr. Ing.
DEÁK György

Doctorand:
ENACHE Natalia-Andreea

Cuvinte cheie: emisii de CO_2, schimbări climatice, zone umede periurbane, cameră statică închisă, cameră dinamică închisă, EGM-5, Kit Injecție, NbS, litieră, modelări biogeochimice

CAPITOL 1. IMPORTANȚA TEMEI. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Creșterea concentrației de GES în atmosferă determină amplificarea efectelor schimbărilor climatice în timp. Acumularea de CO_2 în atmosferă poate fi redusă prin intermediul ecosistemelor, prin acumularea de CO_2 în vegetație și sol, astfel realizându-se așa numitele „bazine" de carbon [1][2] Solurile și ecosistemele din zona umedă stochează cantități mari de C (carbon), care contribuie la reducerea de CO_2, iar cele mai importante procese care afectează echilibrul C al ecosistemelor sunt fotosinteza prin vegetația de suprafață, „respirația solului și apei" în cazul zonelor umede. Ecosistemele din zonele umede sunt bine cunoscute pentru capacitatea lor de a sechestra și stoca C, în primul rând prin acumularea de OM (materie organică) în condiții anaerobe.

Cu toate acestea, în această teză de doctorat, s-a investigat și faptul că zonele umede eliberează cantități substanțiale de CO_2 în atmosferă prin diferite procese biogeochimice, contribuind la emisiile de GES și la schimbările climatice [3].

Zona de studiu de caz de-a lungul râului Dâmbovita, situată în zona periurbană a Bucureștiului, permite o analiză detaliată a emisiilor de CO_2 într-o regiune cu rapidă urbanizare, în special la tranziția dintre un ecosistem de zone umede riverane și lacul de acumulare. Prezența vegetației acvatice și riverane robuste în zonele din apropierea malurilor naturale contrastează cu vegetația mai puțin densă în secțiunea de tranziție către oraș, oferind un set de date variat despre modul în care diferitele densități de vegetație afectează emisiile de CO_2. În plus, teza de doctorat își propune să valideze metode inovatoare pentru monitorizarea și estimarea fluxurilor de CO_2, integrând metodele de măsurare cu camere închise statice și dinamice cu modele statistice matematice avansate, inclusiv simulare numerică. Datorită localizării zonei de studiu într-o locație periurbană, rezultatele tezei aduc contribuții valoroase pentru pregătirea orașelor în procesul de adaptare la schimbările climatice și poate fi extinsă la alte zone periurbane similare, oferind un model replicabil de analiză și intervenție.

Obiectivele specifice sunt:

1. Analiza emisiilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă și apă-atmosferă prin măsurători in-situ și metode de modelare.
2. Testarea și validarea unor metode inovative pentru determinarea emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă, cu accent pe aplicabilitatea acestora în ecosistemele de zone umede.
3. Identificarea și evaluarea influenței factorilor meteorologici (temperatura, precipitațiile, viteza vântului, presiunea atmosferică), precum și a parametrilor fizico-chimici ai apei și solului asupra emisiilor de CO_2.
4. Evaluarea variabilității spațio-temporale a emisiilor de CO_2 în contextul schimbărilor climatice.
5. Evaluarea rolului vegetației de suprafață și a litierei asupra capacității ecosistemului de a capta și stoca C.
6. Validarea modelelor predictive de estimare a emisiilor de CO_2 utilizând valorile rezultate din măsurătorile directe.

7. Simularea impactului schimbărilor climatice asupra emisiilor de CO_2 din zona studiului de caz și evaluarea capacității ecosistemului de a acționa ca bazin de carbon, conform RCP8.5 [1].

CAPITOL 2. STADIUL ACTUAL PRIVIND ANALIZA EMISIILOR DE CO_2 DIN ECOSISTEMELE DIN ZONE UMEDE ÎN CONTEXTUL SCHIMBĂRILOR CLIMATICE

2.1. Situația pe plan European privind stadiul actual al zonelor umede în contextul schimbărilor climatice din punct de vedere legislativ

În contextul actual al schimbărilor climatice globale accelerate, care afectează atât generațiile prezente cât și pe cele viitoare [4], s-au demarat acțiuni la nivel internațional și au început să fie elaborate tratate și acorduri ce au ca scop limitarea și reducerea emisiilor de GES. UE (Uniunea Europeană) a depus eforturi considerabile de combatere a schimbărilor climatice, îmbunătățind politica de mediu printr-o serie de tratate, directive și acorduri care abordează aceste emisii, pierderea biodiversității și sustenabilitatea mediului [5]. Aceste tratate și directivele europene privind schimbările climatice oferă un cadru juridic și politic cuprinzător care sprijină conservarea zonelor umede ca o componentă critică a atenuării schimbărilor climatice și joacă un rol esențial în dezvoltarea NbS, cum ar fi conservarea zonelor umede, care fac parte integrantă din ciclul global al carbonului [2].

Pentru a limita intensificarea emisiilor de GES, au fost luate măsuri încă din 1992, când națiunile lumii au semnat CCONUSC (Convenția-cadru a Națiunilor Unite privind Schimbările Climatice) [6]. CCONUSC a încercat să stabilizeze concentrația de GES din atmosferă pentru a permite ecosistemelor să se adapteze în mod natural la impactul schimbărilor climatice.

Din 1997, Protocolul de la Kyoto a impus ținte obligatorii de reducere a GES pentru țările semnatare dezvoltate. Protocolul stabilește obiective obligatorii pentru țările industrializate, pentru reducerea emisiilor de GES [7]. În prima perioadă de angajament sub Protocolul de la Kyoto (2008-2012), majoritatea Statelor Membre UE, inclusiv România, au vizat o reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră cu 8% față de anul 1989. A doua perioadă de angajament (2013-2020) a fost stabilită prin „Amendamentul de la Doha”, iar UE și-a asumat reducerea emisiilor cu 20% față de 1990 [8].

În cadrul celei de-a XXI-a Conferințe a Părților la Convenția-cadru a Națiunilor Unite asupra Schimbărilor Climatice (COP 21), în Decembrie 2015, a fost adoptat Acordul de la Paris, un instrument obligatoriu juridic și cu participare universală, care ghidează acțiunile globale pentru limitarea creșterii temperaturii medii globale la sub 2°C, începând cu 2021 [6].

IPCC a dezvoltat metodologia pentru inventarierea gazelor cu efect de seră generate de activitățile antropice, în funcție de diferite sectoare cheie [9][10]. Aceste inventare de GES includ sectorul LULUCF, care acoperă emisiile din ecosistemele forestiere, terenurile agricole, pajiștile, așezările și alte terenuri, precum și ecosistemele zonelor umede [11]. Regulamentul privind LULUCF (Regulamentul (UE) 2018/841) le solicită statelor membre UE să țină cont de emisiile de GES din utilizarea terenurilor, inclusiv zonele umede, asigurându-se că aceste rezervoare naturale de carbon sunt conservate și îmbunătățite [12].

Aceste eforturi legislative se concentrează pe stoparea degradării și promovarea refacerii zonelor umede pentru a sprijini ciclul carbonului și biodiversitatea, consolidând

importanța zonelor umede în atingerea obiectivelor climatice și consolidarea rezilienței împotriva impactului climatic în întreaga Europă.

2.2. Circuitul carbonului în ecosistemele de zone umede

2.2.1. Situația actuală privind fenomenele legate de circuitul carbonului în ecosistemele de zone umede

Zonele umede sunt printre cele mai productive ecosisteme, jucând un rol crucial în reglarea ciclului global al carbonului. R_{eco} (respirația ecosistemului) este cea mai mare componentă a exportului de carbon din ecosistemele terestre și determină potențialul de absorbție de carbon al acestora. R_{eco} în zonele umede este influențată de mai mulți factori de mediu, parametrii meteorologici, cât și parametrii fizico-chimici ai apei și ai solului.

Emisiile de CO_2 de la interfața apă-atmosferă depind de $T_{apă}$ (temperatura apei)[13], T_{aer} (temperatura aerului) [14], tipul de vegetație, biomasa rădăcinilor [15] și condițiile hidrologice [34]. Rata schimbului de CO_2 între sol și aer este direct influențată de temperatura solului și a aerului, M_{sol} (umiditatea solului), proprietățile solului [16], salinitatea [17] și nutrienți.

2.2.2. Zonele umede riverane în ciclul global al carbonului

Zonele umede riverane au capacitatea de a capta carbonul din sol în timp ce gestionează emisiile de CH_4, astfel că sunt ecosisteme cheie , iar cadrele legislative le recunosc rolul dublu în captarea carbonului și reglarea emisiilor de GES, legându-se direct de rolul zonelor umede riverane în ciclul global al carbonului.

C captat în zonele umede este stocat în primul rând ca OM în soluri inundate, unde condițiile anaerobe încetinesc descompunerea, ducând la acumularea de carbon în timp [18]. Emisii de CO_2 și de CH_4 din rezervoarele de apă/zone umede rezultă din descompunerea OM din plante, soluri inundate/mâl, din descompunerea OM produse în rezervor, dar și OM importată în acesta prin inundare. CO_2 este produs în condiții oxice (în prezenta oxigenului) și anoxice (în lipsa oxigenului) în corpul de apă, în solurile și sedimentele inundate ale rezervorului/zona umedă și este consumat de producătorii primari acvatici (biomasa vie, microorganisme) [19].

În perioadele de inundații, OM și sedimentele bogate în C sunt depuse în zonele umede, unde pot fi stocate în straturile de sol anaerobe, reducând ratele de descompunere și promovând stocarea pe termen lung a C [20]. În concluzie, zonele umede riverane pot acumula stocuri mari de C_{org}, în special în sol, unde C poate rămâne stocat un timp indelungat [18].

2.3. Principalii factori care influențează emisiile de CO_2 din ecosistemele din zone umede

2.3.1. Dependența emisiilor de CO_2 de factorii meteorologici

Cercetările recente în domeniu au identificat T_{aer} [21][22], Pp (precipitațiile) [23], P* (presiunea atmosferică) [21] și radiația solară [24] ca factori meteorologici cheie care influențează emisiile de CO_2 din zonele umede. Determinarea relațiilor de dependență dintre condițiile meteorologice și emisiile de CO_2 din zonele umede este esențială pentru dezvoltarea unor inventare precise de GES și pentru modelarea impactului schimbărilor climatice asupra dinamicii carbonului din zonele umede.

T_{aer} este principalul factor meteorologic ce influențează respirația microbială din sol, ducând la o descompunere crescută a C_{org} stocat în solurile din zonele umede și la eliberarea

ulterioară de CO_2. Temperaturile mai ridicate intensifică R_{plant} (respiratia plantelor)[25], ca parte a proceselor metabolice naturale ale vegetației, ducând la o eliberare mai mare de CO_2 [26].

Precipitațiile au un impact semnificativ asupra emisiilor de CO_2 din zonele umede, influențând nivelul apei, disponibilitatea oxigenului și activitatea microbiană, toate acestea fiind factori cheie în fluxurile de GES [27]. Variațiile regimului de precipitații intensifică pierderile de C stocat în solurile din zonele umede.

Presiunea atmosferică este un parametru important ce influențează emisiile de CO_2 în zonele umede prin influențarea ratelor de schimb de CO_2 dintre sol și atmosferă, precum și prin afectarea activității microbiene din ecosistemul zonelor umede. Schimbul de gaze și difuzia sunt influențate de P*, presiunea mai mică crescând eliberarea de gaz din solurile umede și presiunea mai mare încetinind emisiile de CO_2 [28]. Nivelurile apei din zonele umede pot fi, de asemenea, afectate de presiunea atmosferică, presiunea mai mare împingând apa mai adânc în sol și presiunea mai scăzută creând un efect de aspirație, eliberând gazele captate [29].

Viteza vântului (VV) are un impact semnificativ asupra emisiilor de CO_2 din zonele umede, afectând ratele de schimb de gaze și condițiile de microclimat. Vântul crește turbulența apei, sporind transferul de CO_2 de la interfața apă-atmosferă sau sol-atmosferă. Acest efect poate crește temporar emisiile de CO_2, în special în zonele cu apă de suprafață [30].

2.3.2. Dependența emisiilor de CO_2 de parametrii fizico-chimici ai apei

$T_{apă}$ este principalul parametru dintre toate variabilele care influențează ritmul proceselor biochimice precum fotosinteza, respirația microbială sau descompunerea OM. Pe măsură ce T_{aer} și $T_{apă}$ cresc, activitatea metabolică a microorganismelor aerobe și anaerobe se intensifică, ducând la rate de respirație mai mari și, în consecință, la creșterea emisiilor de CO_2 [31]. $Q10_{apa}$ este o funcție care estimează cât de mult crește viteza de reacție a microorganismelor cu o creștere de 10°C a temperaturii apei. Valorile $Q10_{apa}$ sunt ridicate pentru multe procese microbiene care au loc în zonele umede, ceea ce înseamnă că emisiile de CO_2 pot crește semnificativ chiar și cu mici creșteri ale temperaturii [32]

DO este esențial pentru respirația organismelor acvatice, iar la niveluri scăzute, încetinește activitatea microbiala , ducând la procese anaerobe care generează emisii de CO_2 și CH_4 [33]. În aceste cazuri, zonele umede pot trece de la a fi bazine de CO_2, la a contribui cu emisii de CH_4 în atmosferă. De asemenea, nivelurile scăzute de DO din cauza acumulărilor de OM sau a poluărilor pot duce la condiții hipoxice (lipsă de oxigen) care sunt stresori pentru organismele dependente, astfel, reducând biodiversitatea și modificând dinamica ecosistemului [34].

pH-ul apei influențează, de asemenea, ciclul carbonului prin activitatea microbială. Tipurile de procese microbiene influențează dacă produsul principal al descompunerilor OM este CO_2 sau CH_4.

Nutrienții, precum azotul (N), fosforul (P) și potasiul (K), influențează atât productivitatea plantelor, cât și procesele de descompunere microbiană, care, la rândul lor, influențează bilanțul general de carbon și emisiile de GES.

Clorofila-a reprezintă principalul pigment din algele și plantele acvatice, stimulând productivitatea primară și influențând emisiile de CO_2. Aceasta are un dublu efect, pe de-o parte poate promova absorbția și stocarea CO_2 prin activitatea fotosintetică, dar, în anumite condiții, poate duce indirect la creșterea emisiilor de CO_2 prin descompunere și procese microbiene.

Turbiditatea și TSD (sărurile dizolvate totale) sunt factori care obstrucționează accesul la lumină în ecosistemele acvatice, influențând procesele fotosintetice, activitatea bacteriilor și descompunerea OM. Atunci când turbiditatea este ridicată, lumina este mai greu de pătruns, ceea ce reduce eficiența fotosintezei și favorizează condiții anaerobe, modificând astfel echilibrul dintre emisiile de CO_2 și CH_4 [35]. O apă cu turbiditate crescută indică adesea prezența unor cantități mari de OM în suspensie sau sedimente, elemente care contribuie la creșterea nivelului de emisii de CO_2 [36]. Sărurile dizolvate precum bicarbonații și carbonații au capacitatea de a influența pH-ul, ceea ce afectează solubilitatea CO_2 și implicit emisiile acestuia [37].

2.3.3. Dependența emisiilor de CO_2 de parametrii fizico-chimici ai solului

Activitatea microbiană este în principal afectată de T_{sol}. Solurile din zonele umede conțin o cantitate mare de OM, care include bazine de carbon labile și recalcitrante. În timp ce carbonul recalcitrant se descompune de obicei mai lent, acesta din urmă se descompune rapid și eliberează CO_2 prin respirația microbiană [38]. Analog, creșterile de T_{sol} eliberează C stocat din bazinele formate care erau altfel stabile.

Umiditatea solului are un impact direct asupra proceselor microbiene care contribuie la descompunerea OM și la emisiile de CO_2. Tipurile de microorganisme care controlează procesul de descompunere influențează viteza de descompunere a OM în zonele umede, deoarece disponibilitatea umidității influențează nivelul de oxigen din sol [39].

pH-ul solului în zonele umede influențează activitatea enzimatică, disponibilitatea nutrienților și starea redox a solului. Chimia apei, speciile de plante, populațiile microbiene și condițiile hidrologice influențează pH-ul solului, determinând dacă o zonă umedă are rol de bazin sau sursă de emisii de CO_2.

Deoarece *nutrienții* din sol afectează populațiile microbiene, producția de plante și descompunerea OM moarte, aceștia sunt esențiali în determinarea emisiilor de CO_2 din ecosistemele acvatice. În timpul descompunerii OM, creșterea microbiană și performanța enzimelor depind de N și P [40]. Ecosistemele zonelor umede pot suferi de supraîncărcare cu nutrienți, ceea ce poate provoca eutrofizare și poate converti zonele umede din bazine de carbon în surse [41].

2.4. Metode de determinare a fluxului de CO_2 din ecosistemele acvatice si terestre

În scopul monitorizării fluxurilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă și apă-atmosferă, tehnicile și metodele consacrate includ abordări prin măsurători directe prin utilizarea senzorilor in-situ și a camerelor de GES, și tehnici avansate de monitorizare prin satelit și modelare biogeochimică. Fiecare metodă oferă avantaje și limitări pe baza cărora s-a realizat o analiză decizională pentru evaluarea modelelor și a satisfacției, prezentate în Figura 2.1.

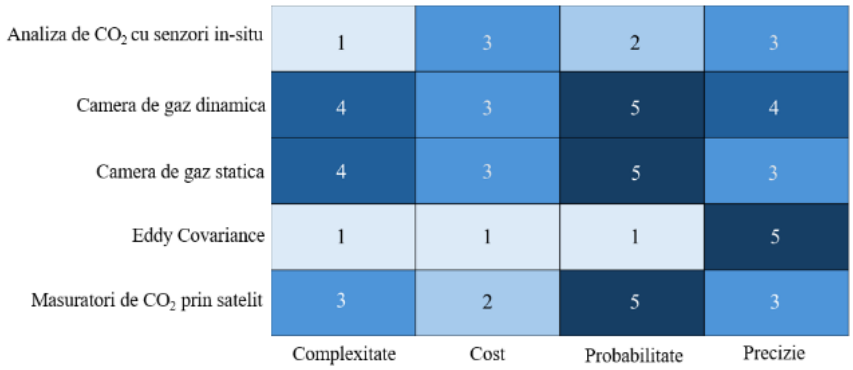


Fig. 2.1. Matrice decizională pentru alegerea metodelor de determinare a fluxurilor de CO_2

Din analiza matricii decizionale, a rezulat că cel mai mare coeficint de satisfacție îl au camera dinamică (80%), respectiv camera statică (75%).

2.5. Metode pentru estimarea emisiilor de CO_2

Analiza datelor în scopul estimării emisiilor de CO_2 la nivel spațio-temporal implică abordări hibride ce combină metode cantitative și calitative care includ scenarii bazate pe metode numerice în care sunt incluse extrapolări ai unor parametrii, precum și modele numerice și biogeochimice specifice. Pentru modelarea emisiilor de CO_2 se utilizează frecvent diferite scenarii cu traiectorii de emisii și concentrații de gaze cu efect de seră conform RCP (Representative Concentration Pathways). Pentru calibrarea și validarea rezultatelor obținute se folosesc modelări numerice în spațiu și timp, ceea ce se realizează prin dinamica temporală a măsurătorilor in-situ.

Extrapolările sunt metode pentru studierea fluxurilor de CO_2 la scară mare, oferind o imagine generală a dinamicii carbonului, iar pentru obținerea unor date cu nivel ridicat de încredere, acestea combină măsurătorile directe și modelele predictive. Extrapolările necesită validare și calibrare pe baza unor măsurători de monitorizare in-situ realizate în trecut pentru un tip de ecosistem, după care se trece la extrapolarea în viitor.

Pentru a analiza procesele care controlează ciclul carbonului la nivelul ecosistemelor, modelele biogeochimice sunt cele mai des utilizate pentru integrarea factorilor biologici, chimici și fizici. Unul dintre instrumente de acest tip este modelul DNDC (DeNitrification-DeComposition) care este un instrument biogeochimic ce permite simularea fluxurilor de GES atât din ecosistemele terestre, cât și din ecosistemele acvatice. Este important de precizat faptul că, DNDC necesită un set detaliat de parametri inițiali, iar eventualele erori pot apărea în lipsa unor date de intrare detaliate sau eronate, sau cu nivel de încredere scăzut.

O altă metodă pentru estimarea emisiilor de CO_2 la nivel global este integrarea datelor satelitare sau a datelor obținute prin teledetecție prin utilizarea dronelor. Teledetecția prin satelit oferă o metodă eficientă pentru monitorizarea emisiilor de CO_2, măsurand concentrațiile de gaze prin spectroscopie în infraroșu, pe de altă parte, teledetecția cu drone oferă estimări ale fluxurilor de gaze locale și asigură rezoluție spațială ridicată și accesibilitate în zone mai izolate [42].

CAPITOLUL 3. MATERIALE ȘI METODE DE LUCRU

3.1. Caracterizarea zonei de studiu

Zona cercetată reprezintă un segment al râului Dâmbovița, unde acesta formează mici ecosisteme de zone umede, cu o biodiversitate notabilă, datorită condițiilor locale de habitat și proximității față de oraș. În zona de amonte de Lacul Morii, râul își păstrează o parte din caracteristicile naturale, deși în mare măsură a fost supusă unor amenajări hidrotehnice.

Aceste zone umede naturale au un rol ecologic esențial, formând habitate acvatice, contribuind la retenția de apă, stabilizarea malurilor și, în anumite cazuri, la filtrarea unor poluanți înainte de a ajunge în Lacul Morii [43]. Apropierea de București și dezvoltarea urbanistică accelerată din vecinătatea comunei Chiajna exercită însă o presiune semnificativă asupra acestor habitate.

3.2. Distribuția spațială a zonei de studiu Râul Dâmbovița

Terenul din această regiune este în general plat cu ușoare elevații, tipic Câmpiei Române. Ușoarele denivelări ale terenului pot afecta debitul apei de suprafață și pot influența riscurile potențiale de inundații în zonele joase.

Ținând cont de coordonatele geografice, precum și de o serie de baze de date, au fost procesate hărți în programul QGIS (Quantum Geographic Information System), subliniind tipurile de acoperire ale terenului pentru anii 1984 până în 2020 precum și suprafața determinată din cadrul zonei de studiu.

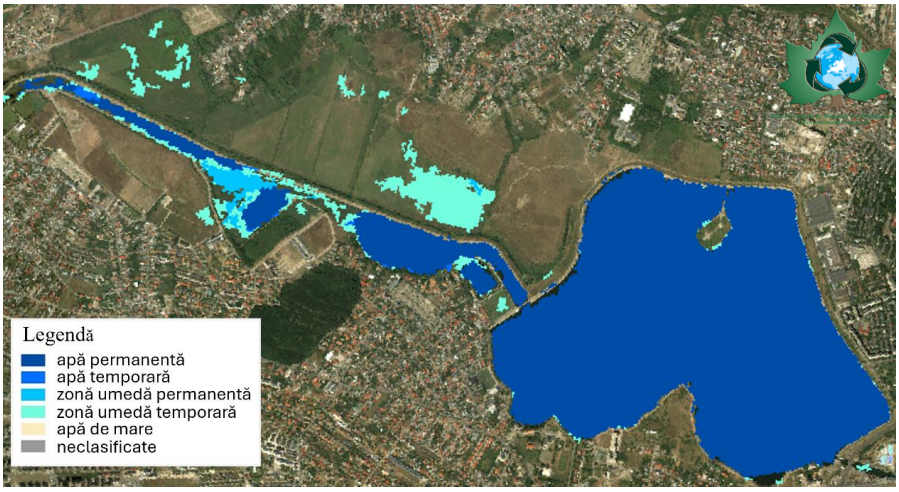


Fig. 3.1. Determinarea suprafețelor zonelor umede din zona de studiu utilizând metodologia Corine Land Cover

3.2.1. Situația spațială a corpului de apă din zona investigată (aria Râului Dâmbovița)

De la construirea lacului de acumulare Lacul Morii în 1986, în amonte de acesta s-au format zone umede fluviale, acoperite de vegetație specifică din speciile *Phragmites australis* și *Typha latifolia*. Zona luată în considerare în studiul de caz, prezentată în Figura 3.2, are un perimetru de 8630 m și o suprafață de 702.604 m^2. Pentru a surprinde variabilitatea întregii arii

de studiu, au fost selectate cele mai sugestive trei zone egale ca suprafață de-a lungul râului pentru măsurători ale emisiilor de CO_2 la interfața apă-atmosferă (Zona A, Zona B și Zona C) pe baza distribuției spațiale și a extinderii vegetației. Astfel, Zona A ce are corespondentă Locația A, situată în amonte, se caracterizează printr-un curs îngust al râului pe o albie dezvoltată în mod natural, având o viteză mai mare de curgere comparativ cu celelalte locații analizate, iar malurile sale sunt abundent acoperite cu vegetație *Typha latifolia*. În anotimpul de vară, vegetația prezintă 61.65% din suprafața totală de 3606 m^2, în timp ce luciul apei, are o suprafață de 38.35%. Zona B, ce are corespondentă Locația B, are un mal mai întins decât Zona A, o albie construită și vegetație mixtă dispersată de-a lungul malurilor. Aceasta este considerată o zonă de tranziție între Zona A și C în ceea ce privește distribuția vegetației. Vara, vegetația prezintă 37.44 % din suprafața totală de 3600 m^2, în timp ce luciul apei, are o suprafață procentuală de 62.56%. Zona C, ce are corespondentă Locația C, a fost selectată pentru poziționarea ei cât mai aproape de rezervorul construit, dar și pentru solurile acoperite abundent de vegetația *Phragmites australis* în proporție de 37.44%, în timp ce luciul apei prezintă un procent de 40.85% din suprafața totală de 3655 m^2.

Este cunoscut faptul că emisiile de CO_2 depind de aria zonei cu vegetație, respectiv, de forma geometrică a zonei umede analizate. În acest context s-a identificat un coeficient de formă a geometriei zonei umede C_{ND}=*f(suprafața vegetației /suprafața apei, lățime/lungime arie investigată)* ce caracterizează emisiile de CO_2. Pentru fiecare zonă investigată a fost calculat acest coeficient de ajustare având valorile: Zona A=0.25, Zona B=0.43, Zona C=0.54.



C_{ND}=0.25 C_{ND}=0.43 C_{ND}=0.54

Fig. 3.2. Reprezentare spațială a zonelor de măsurători ale emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă

3.2.2. Situația spațială a solului din zona investigată (aria Râului Dâmbovița)

Zonele de studiu pentru măsurătorile fluxurilor de CO_2 de la suprafața solului, reprezentate în Figura 3.3, au fost selectate în funcție de tipul de vegetație ce-l acoperă și de regimul de umiditate. Astfel, în zona de studiu, au fost identificate două tipuri de sol; sol

potențial inundabil și sol inundat, dar și două tipuri de vegetație specifică zonelor umede: papură (*Typha latifolia)* și stuf sau trestie *(Phragmites australis)*. Zona de sol cu vegetație preponderentă din specia papurei este situată în imediată vecinătate a cursului râului Dâmbovița, în zona de amonte (Locația SC). Din punct de vedere al managementului, acesta este un sol cu potențial de inundabilitate, dar pe toată perioada măsurătorilor a fost neacoperit de apele râului. Al doilea tip de sol selectat în vederea monitorizărilor este amplasat în zona de aval și se caracterizează de vegetație preponderent din specia stufului (Locația SP). Acesta a avut un regim al umidității discrepant de-a lungul anului; astfel, în prima parte a anului, în perioada Ianuarie-Mai a prezentat caracteristicile unui sol desecat, cu valori ale umidității între 11.6% și 45.6%, iar în perioada Iunie-Decembrie, a fost saturat de apă, cu valori ale umidității de peste 50%.



Fig. 3.3. Reprezentare spațială a zonelor de măsurători ale emisiilor de CO_2 la interfața sol-atmosferă

Pentru determinarea gradului de degradabiliate al litierei au fost colectate în toamnă două tipuri de vegetație, *Phragmites australis* și *Typha latifolia*, având în vedere că acestea sunt cele mai comune specii de plante acvatice de-a lungul bazinului hidrografic din zona de studiu Dâmbovița în amonte de Lacul Morii. Pentru a aproxima condițiile naturale, vegetația a fost tăiată în faza de uscare, pentru a surprinde întreg procesul de degradare a acesteia. Pentru a minimiza diferențele de calitate a litierei, fiecare specie a fost colectată din aceeași zonă (Zona A), prezentată în Figura 3.4.



Fig. 3.4. Reprezentare spațială a zonei de colectare a biomasei de suprafață pentru speciile *Phragmites australis* și *Typha latifolia*

3.3. Analiza climatului și a semnalului schimbării climei

3.3.1. Analiza climei și a variabilității climatice a zonei umede investigate

Pentru analiza principalilor paramnetrii meteorologici, au fost utilizate date de reanaliză generate de ECMWF (Centrul European pentru Prognoze Meteorologice pe Termen Mediu) prin ERA5 (ECMWF Reanalysis v5) la o rezoluție spațială de 30 km pentru intervalul temporal 1979-2023 (Figura 3.5) [44][45].

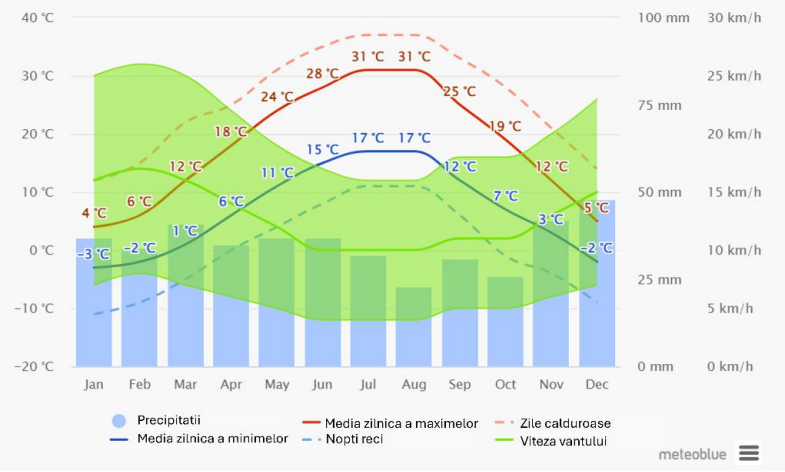


Fig. 3.5. Temperatura medie, cantitatea medie de precipitații și viteza vântului din ultimii 30 de ani [155]

Graficul din Figura 3.6 arată anomalia de temperatura și precipitații pentru fiecare lună din 1979 până în prezent. Din punct de vedere al temperaturilor, se regăsește o creștere a lunilor mai calde de-a lungul anilor cu anomalii de până la 5.6 °C în luna Ianuarie 2023 care reflectă încălzirea globală asociată cu schimbările climatice. De asemenea, valorile negative cele mai mari ale anomaliilor pentru temperatura s-au înregistrat în luna Februarie 1985 și 2012 cu -9°C și, respectiv -7.3°C, față de media lunară. Lunile cu anomalii ale precipitațiilor s-au înregistrat în Septembrie 2005 cu 177 mm și în Iulie 1991 cu 132 mm. Valorile negative ce indică lunile secetoase au fost predominante în ultimii 20 de ani cu indicatori ai anomaliilor de până la -63 mm în luna Iulie 2012.

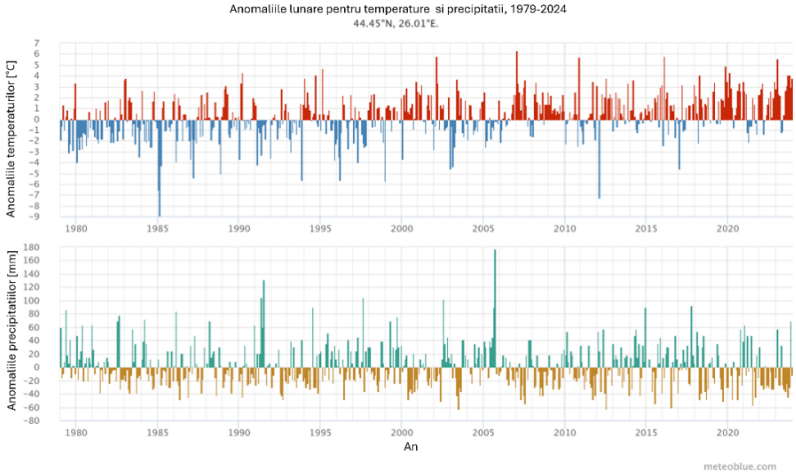


Fig. 3.6. Anomalii lunare ale temperaturilor și precipitațiilor în intervalul 1979-2023 [44]

3.3.2. Proiecția schimbărilor climatice pentru zona umedă investigată

Pentru această analiză au fost utilizate date de model climatic disponibile din platforma Climate Analytics [45].

Graficul din Figura 3.7 arată modul în care modificările absolute ale temperaturii medii a aerului se vor desfășura în timp în regiunea București la diferite niveluri de încălzire globală pe baza scenariilor RCP8.5 și RCP4.5. Acestea sunt comparate cu perioada de referință cuprinsă între 1986 și 2006, când temperatura medie a fost de 11.69 °C. Astfel, conform RCP4.5, până în anul 2050, s-a simulat o creștere de 1.9°C, iar conform RCP8.5, creșterea este de 2.3°C. Până în anul 2100, valorile minimelor zilnice pot crește cu 3.1°C conform RCP4.5 și cu până la 6.6°C, peste media anilor de baza, conform RCP8.5.

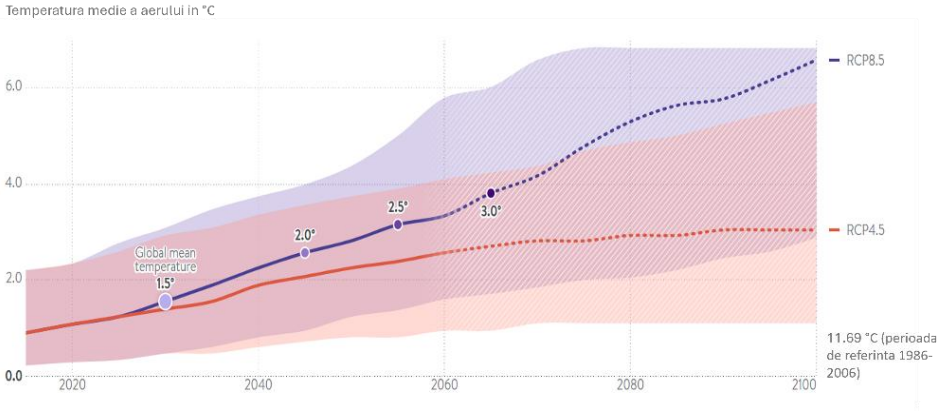


Fig. 3.7. Temperatura medie a aerului simulată conform RCP4.5 si RCP8.5 [45]

3.4. Metodologie pentru monitorizarea emisiilor de CO_2

3.4.1. Monitorizarea emisiilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă

Metoda utilizata pentru masurarea emisiilor la interfata sol-atmosfera se bazează pe măsurarea directă a fluxurilor de CO_2 în interiorul unei camere cu o suprafață cunoscută [159]. Pentru măsurarea respirației solului, in cadrul INCDPM, a fost utilizat un analizor portabil de gaz CO_2 cu infraroșu (EGM-5) (Figura 3.8), echipat cu un senzor (Stevens HydraProbe) pentru analiza temperaturii și umidității solului. Metoda este dinamică și se bazează pe măsurarea diferenței de concentrație de CO_2 (ppm) dintre aerul care intră și cel care iese din cameră. Emisiile de CO_2 s-au determinat prin măsurarea vitezei de modificare (creștere) a ratei concentrației de CO_2 în interiorul camerei pe perioada de timp prestabilita [46].



Fig. 3.8 Analizor de flux de CO_2 EGM-5 cu camera dinamică închisă

Monitorizarea s-a bazat pe repetabilitatea unei măsurători între trei și cinci replici cu o durată de 60s fiecare, după care s-a aplicat calculul mediei aritmetice pentru a estima rata de emisie în fiecare punct [47]. Metodologia de măsurare a fluxurilor de CO_2 din fiecare zonă s-a realizat lunar, cu repetiții în lunile în care au fost identificate anomalii meteorologice cum ar fi precipitații după o perioadă îndelungată de seceta sau temperaturi anormale pentru perioada vizată.

3.4.2. Monitorizarea emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă

3.4.3. Metoda cu cameră închisă dinamică

Pentru a efectua măsurători de debit de CO_2 la inetrfata apă-atmosferă, echipamentul format din analizorul EGM-5 și camera dinamică închisă, a fost adaptat condițiilor specifice ecosistemelor acvatice fiind amplasat pe un dispozitiv plutitor conceput de autoare în cadrul INCDPM (Figura 3.9).



Fig. 3.9. Sistem cu cameră închisă EGM-5 și dispozitiv plutitor

Pentru că timpul de măsurare depinde direct de respirația liniară a ecosistemului și pentru adaptarea metodologiei de măsurare cu camera închisă a debitului de CO_2 în zonele umede, timpul de măsurare a fost mărit la 300 sec, maximul permis de capacitatea aparatului [48].

3.4.4. Metoda Kitului de Injecție

O alternativă la metoda camerei dinamice închisă este metoda Kitului de Injecție , fiind o tehnică utilizată pentru măsurarea concentrațiilor de CO_2 cu ajutorul unor eșantioane mici de gaz, colectate într-o cameră statică de prelevare și transferate în analizorul EGM-5 cu ajutorul unei seringi.

Kitul de Injecție (Figura 3.10) este alcătuit din două componente principale: o rețea de tuburi care se conectează la camera statică, camera statică în care se acumulează CO_2 și o serie de injecții cu un volum de 10 ml pentru colecatrea probelor de gaz care permit monitorizarea concentrației de CO_2 din interiorul camerei statice. Pentru colectarea CO_2 de la interfața apă-atmosferă, în cadrul INCDPM, a fost folosită o cameră statică de colectare plutitoare cu un Vc (volum) cunoscut de 4,25 l.



a) b) c)

Fig. 3.10. Kit de Injecție pentru colectarea (a) și analiza CO_2 (b) de la interfața apă-atmosferă și metoda de colecatre de la interfața sol-atmosferă (c)

Principiul metodei de măsurare a debitului de CO_2 cu cameră dinamică închisă EGM-5 se bazează pe diferența dintre concentrația de CO_2 atmosferică și emisiile de CO_2 de la suprafața, calculate automat de aparat. Pe de altă parte, metodă Kitului de Injecție măsoară concentratiile de CO_2 acumulate în interiorul camerei plasate pe suprafața apei pe o perioadă de timp de 30 minute. Probele au fost colectate sistematic la 1 minut în primele 5 minute, la 3 minute în următoarele 15 minute, apoi 2 măsurători la fiecare 5 minute [48].

3.6. Monitorizarea parametrilor fizico-chimici ai apei

3.6.3. Prelevarea probelor de apă și analize de laborator

În vederea determinării parametrilor de calitate ai apei și solului pentru o analiză comparativă, au fost prelevate probe de apă și sol în luna Mai, din fiecare zonă de studiu în vederea asigurării unui nivel de încredere ridicat a parametrilor monitorizați.

Pentru prelevarea probelor de apă, s-a colecat o cantitate de 500 ml pentru fiecare proba la o adâncime de aproximativ 30 cm. Recipientul a fost introdus cu gura în jos pentru prelevarea în profunzime, ulterior, sticla a fost ținută contra curentului până la umplerea acesteia. Recipientele au fost etichetate și transportate în timp scurt la laboratorul din cadrul INCDPM, păstrate la rece și ferite de lumina soarelui. Analiza probelor a vizat parametrii ai pH-ului, principalii nutrienți precum N și P, CCO-Cr și clorofila-a.

3.6. Monitorizarea parametrilor fizico-chimici ai solului

3.6.2. Prelevarea probelor de sol și analize de laborator

În vederea determinării parametrilor de calitate ai apei și solului, au fost prelevate probe de apă și sol în luna Mai, din fiecare zonă de studiu. Conform metodologie în vigoare, pentru fiecare suprafaţa de probă, din apropierea centrului acesteia, s-a realizat câte un profil de sol, care s-a săpat cu ajutorul unei lopeți, iar cu un cilindru metalic cu dimensiuni de 25 cm lungime și diametru de 5 cm, s-au prelevat probe de sol [49]. Probele, câte două la număr pentru fiecare profil de sol, s-au recoltat de la adâncimile de 0-10 cm, 25-30 cm, cantitatea de sol prelevată pentru fiecare orizont geometric, fiind între 87 g și 124 g. Pungile cu probele de sol din teren au fost etichetate (numărul dată şi orizontul geometric) și trimise la laboratororul din cadrul INCDPM pentru determinări de pH, azot total (N_{total}), fosfor total P_{total}, C_{org} și humus. Totate probele au fost uscate timp de 48h la o temperatură de 40°C, până la o masă constantă [50], iar rădăcinile și pietrele au fost îndepărtate.

3.7. Analiza compoziției și dinamicii degradabilității litierei

3.7.2. Monitorizarea ratei de degradabilitate a litierei

Metoda săculeților de litieră este metoda predominant raportată pentru estimarea ratelor de descompunere a litierei, atât în mediile terestre, cât și în zonele umede [184]. Această metodă implică plasarea unei cantități cunoscute de litieră într-un săculeț sau plasă din țesătură și apoi examinarea modelului temporal de pierdere în greutate cu o serie de colectări pe o perioadă de câteva săptămâni, până la câțiva ani.

Am măsurat descompunerea litierei, prin activități întreprinse în cadrul INCDPM, folosind metoda săculeților de litieră [51]. În luna Noiembrie 2022, am colectat două tipuri de vegetație: stuf (*Phragmites australis*) și papură (*Typha latifolia*), deoarece sunt principalele specii de plante comune, dominante pentru zona umedă de studiu. Pentru a aproxima condițiile naturale, vegetația a fost tăiată în faza de uscare, dar cât încă era în picioare, pentru a surprinde tot procesul de degradabilitate al acesteia. Pentru a minimiza diferențele de calitate a litierei, fiecare specie a fost colectată dintr-o singură zonă, din Locația A.

Săculeții de litieră au fost construiți manual din plasa de fibră de sticlă cu dimensiuni de 150X150 mm, având o latură pliată și trei laturi cusute cu fir din același material [52]. Fiecare săculeț a fost etichetat cu un cod unic de identificare pentru a permite ca masele finale să fie potrivite cu masele inițiale [53]. Fiecare săculeț a fost cântărit cu o balanță de precizie, înainte de umplere pentru a evita erorile de gramaj ce ar fi putut interveni din confecționarea manuală a acestora. Astfel, au fost umpluți 40 de săculeți, câte 20 cu fiecare tip de vegetație dintre cele două, astflel, cantitatea de 10g de litieră a fost aceeași în fiecare săculeț. Ulterior, săculeții au fost grupați câte 5 cu conținut din fiecare specie de vegetație și strâns legați de-a lungul unei sfori cu o lungime totală de aproximativ 2m fiecare. Săculeții au fost mai întâi scufundați pentru a minimiza orice efect hidrofob pe care l-ar fi putut cauza plasa din care erau confecționați.

Patru replici ale fiecărui tip de vegetație au fost prelevate în ziua plasării pentru a calcula pierderea de masă din cauza manipulării [54]. Opt serii a câte 5 săculeți au fost apoi extrase la 10 zile distanță între fiecare. Săculeții de litieră au fost transportați înapoi la laboratorul din cadrul INCDPM, curățați de material extern și deschiși. Deșeurile au fost îndepărtate cu grijă din interiorul pungii și sedimentele au fost clătite. Litiera a fost uscată la etuvă, la o temperatură

constantă de 65 °C timp de aproximativ cinci zile până când a fost atinsă o masă constantă [55], a fost înregistrată masa, apoi a fost măcinată litiera până a rezultat o pulbere.



Fig. 3.11. Etapele de curățare și uscare ale litierei

3.7.3. Estimarea conținutului de carbon din litieră

Colectarea din teren a probelor din orizontul de litieră a fost realizată conform metodologiei din literatură de specialitate, la o distanță de 1m între fiecare zonă de proba.

Litiera a constat în frunze de salcie (*Salix Sepulclris Chrysocoma*) și reziduuri de lemn provenit de la aceasta în proporție totală. S-a considerat necesar ca, pentru fiecare suprafață de probă să se recolteze câte cinci probe din orizontul de litieră, din interiorul unui cadru din lemn de formă pătratică cu latura de 20 cm. Totodată, au fost îndepărtate resturile minerale şi pietrele, pe măsură ce s-a colectat OM din interiorul cadrului. Probele de litieră constând din frunze uscate și reziduuri de lemn (cel cu diametrul mai mic de 1 cm) au fost puse individual din teren în pungi din plastic etichetate.

Pentru convertirea masei verzi în masă uscată probele de litieră au fost puse la uscat în laboratorul din cadrul INCDPM, în etuvă, la o temperatură de 65°C pe o perioadă de 72 ore [194]. Cântărirea separat pe componente (frunze şi lemn) s-a realizat cu o balanţă de precizie ridicată (+ 0,01 g). Cuantificarea C_{org} s-a obţinut folosind metoda expeditivă propusă de mai mulţi autori [195][196] prin înmulţirea cantităţii de OM în stare uscată cu factorul de conversie 0,5. Rezultatul obţinut a fost exprimat în t/ha.

3.8. Analiza datelor

Emisiile de dioxid de carbon sunt influențate de factori multipli direct sau indirect. Pentru întregul proces de analiză factorială s-a folosit un software de analiză statistică numit SPSS 29.0 (Statistical Product and Service Solutions) [56].

În cadrul analizei datelor și a reprezentării grafice a rezultatelor, am utilizat software-ul Origin Pro 2024, furnizat de OriginLab [57].

În cadrul studiului, software-ul DNDC [58] a fost utilizat pentru generarea scenariilor de emisii și fluxuri de gaze cu efect de seră pentru anii 2050 și 2100. DNDC a fost ales datorită capacității sale de a modela procese biogeochimice complexe, incluzând interacțiunile dintre sol, vegetație și atmosferă. De asemenea, software-ul a fost calibrat utilizând date obținute din teren, asigurând astfel o reprezentare realistă și precisă a dinamicii ecosistemelor studiate.

CAPITOLUL 4. REZULTATE ȘI DISCUȚII

4.1. Caracterizarea fizico-chimică

4.1.1. Caracterizarea fizico-chimică a apei

Pentru a caracteriza calitatea apei din fiecare locație de cercetare, au fost efectuate analize de laborator ale principalilor indicatori în cadrul INCDPM. Rezultatele probelor de apă recoltate din cele trei locații (Locația A, Locația B, Locația C) stabilite de-a lungul cursului de râu sunt prezentate în Tabelul 4.1.

Tabel 4.1. Indicatori fizico-chimici de calitate ai apei caracteristici fiecărei locații de studiu

Indicator		Locația A	Locația B	Locația C
pH	**pH (t°C)**	7.54 (21.4)	7.36 (21.8)	7.39 (22.1)
N_{total}	**mg N/l**	3.92	4.20	8.40
P_{total}	**mg P/l**	0.123	0.243	0.333
CCO-Cr	**mg O_2/l**	5.98	15.3	9.4
Clorofila-a	**µg/l**	1.18	4.74	3.55

Pentru a caracteriza cele trei zone de investigații A, B și C din punct de vedere a calității apei, s-a realizat o matrice decizională, în care, pentru condiții bune s-a considerat o valoare calitativă maximă de 3, moderată 2 și proastă 1, prezentată în Tabelul 4.2.

Tabel 4.2. Matrice decizională pentru caracterizarea fizico-chimică a apei

	Locația A	Locația B	Locația C
pH	Alcalin	Alcalin	Alcalin
N_{total}	3	2	1
P_{total}	3	2	1
CCO-Cr	1	3	2
Clorofila-a	1	3	2

Pe baza matricii decizionale rezultă că, din valorile pH-ului din cele 3 locații indică o alcalinitate moderată. Din punct de vedere al N_{total} și al P_{total} se constată scăderea din amonte spre aval a concentrațiilor. Pentru clorofila-a, respectiv, parametrul legat de oxigenul dizolvat și al CCO-Cr, se observă că în Locația A avem valorile cele mai mici, în Locația B cele mai mari, respectiv în Locația C, valori moderate. În urma prelucrărilor datelor calitativ prezentate în Tabelul 4.2, rezultă că în Locația A, corpul apei este caracterizat la 66% foarte bună din punct de vedere al ecosistemului, în Locația B cu 83% și respectiv 50% pentru Locația C.

4.1.2. Caracterizarea fizico-chimică a solului

Pentru a caracteriza solurile din fiecare locație, s-au recoltat probe de sol după identificarea a două tipuri de vegetație și a unor regimuri distincte de umiditate în care solul era susceptibil să se schimbe. Tabelul 4.3 prezintă rezultatele pentru indicatorii de calitate a solului la adâncimi de 15 cm și 30 cm.

Tabel 4.3. Caracteristici fizico-chimice ale solului în funcție de adâncime și de locație

		SC		SP	
Indicator	**U.M.**	**15 cm**	**30 cm**	**15 cm**	**30 cm**
pH/T_{aer}	**pH/(°C)**	7.06/23.3	7.42/23.3	6.21/23.3	7.49/23.3
Nt_{total}	**%**	0.433	0.488	0.074	0.008
P_{total}	**%**	0.083	0.058	0.072	0.082
C_{org}	**%**	2.13	2.74	1.95	6.38
Humus	**%**	3.67	4.73	3.37	11

4.2. Dinamica fluxurilor de CO_2 din lacul de acumulare - validarea ipotezei Ghidului IPCC

Potențialele emisii de CO_2 de la interfața apă-atmosferă din Lacul Morii au fost monitorizate în perioada de vară, când respirația acestuia ar trebui să fie maximă. Au fost efectuate măsurători săptămânale în perioada Iulie-Septembrie, iar valorile emisiilor măsurate au fost predominant negative (Figura 4.1). Minimul obținut s-a înregistrat în Iulie de -0.07404 g $m^{-2}h^{-1}$, iar maximul a fost în August de 0.01489 g $m^{-2}h^{-1}$. Prin aceste serii de valori se consideră că s-a verificat existența unor condiții de echilibru ceea ce înseamnă că emisiile de CO_2 sunt aproape de zero și nu sunt luate în considerare.

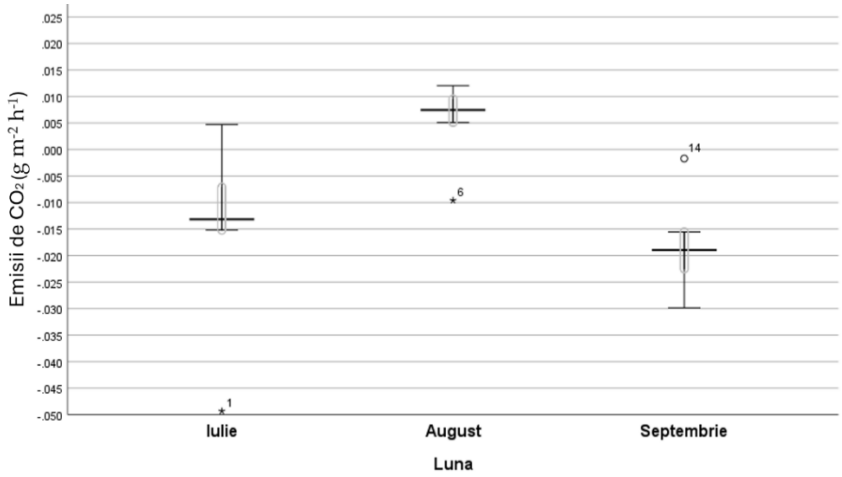


Fig. 4.1. Dinamica emisiilor de CO_2 din Lacul Morii

Având în vedere că, potrivit Ghidurilor IPCC, rezervoarele artificiale emit CO_2 doar în primii 25 de ani de la construire, iar Lacul Morii a fost finalizat în perioada 1985–1986, rezultă că acesta a depășit perioada de emisii menționată, confirmând astfel afirmațiile IPCC [1].

4.3. Analiza comparativă și optimizarea metodelor de măsurare a emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă

În cadrul acestei teze se prezintă două metode de măsurare ale emiilor de CO_2 descrise în Capitolul 3 și realizează o analiză comparativă a acestora în vederea îmbunătățirii volumului informațional care să stea la baza unor decizii cu un nivel de încredere ridicat în ceea ce privește contribuția la inventarierea emisiilor de GES a zonelor umede. Măsurătorile obținute prin metodele EGM-5 și Kitul de Injecție pe parcursului anului 2022 permit analiza variațiilor temporale ale emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă din zona de studiu și sunt

prezentate în Figura 4.2, prin valori cumulate pe Locațiile A, B și C pe fiecare lună din anul de studiu.

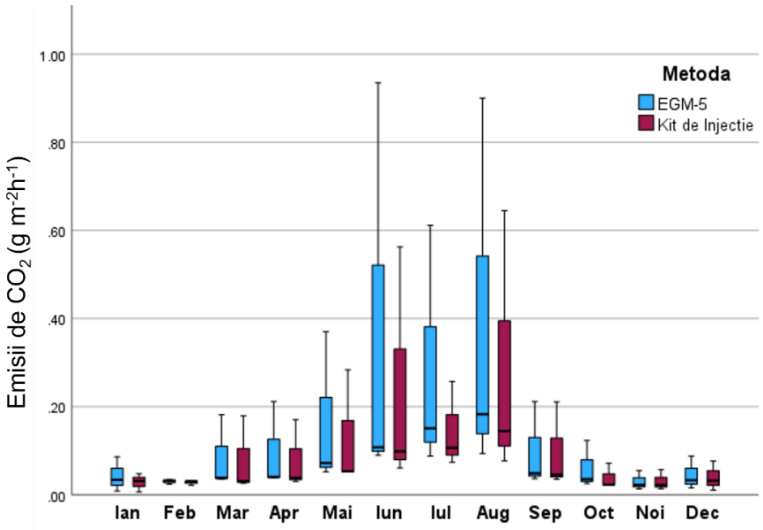


Fig.4.2. Variația lunară a emisiilor de CO_2 măsurate cumulat pe cele 3 locații cu metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție

Pentru o evaluarea rezultatelor obținute prin cele două metode, s-a recurs la analiza statistică a coeficientului de corelație Pearson pentru a identifica dacă există o dependență între cele două metode de măsurare a emisiilor de CO_2 pe fiecare lună, rezultatele fiind prezentate în Tabelul 4.4. Rezultatele obținute pe valorile medii lunare din cele 3 locații arată că, coeficientul de corelație Pearson prezintă o semnificație statistică puternic pozitivă [59] în fiecare luna ($p<0.01$ și $p<0.05$) cuprinse între 0.912 și 0.999. Astfel, s-a arătat că ambele metode măsoară bine emisiile de CO_2 pe zona de interes, distribuțiile având tendințe lunare similare, dar cu amplitudini diferite în favoarea metodei EGM-5. Acest aspect arată că cele două metode sunt complementare la nivel general de zonă de studiu pe întreg anul și caracterizează emisiile de CO_2 în zonele umede periurbane.

4.3.1. Analiza comparativă a metodelor de măsurare a emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă

Variațiile emisiilor medii de CO_2 măsurate utilizând metodele EGM-5 și Kitul de Injecție în fiecare dintre cele 3 locații de studiu (Locația A, Locația B și Locația C) sunt analizate în continuare. În Figura 4.3. este reprezentată variația emisiilor medii lunare de CO_2 în Locația A.

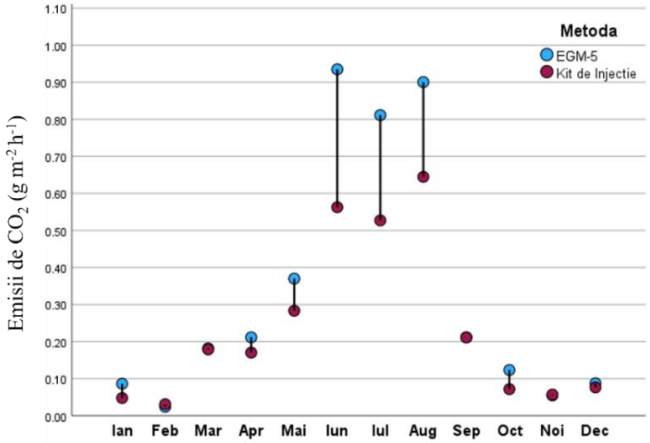


Fig. 4.3. Variația lunară a emisiilor medii de CO_2 din Locația A măsurate cu metoda EGM-5 și cu metoda Kitului de Injecție

Rezultatele testului t (t=1.019, p=0.122) au indicat o diferență nesemnificativă statistic între cele două metode de măsurare pentru mediile lunare ale emisiilor de CO_2 la nivelul anului în Locația A, respectiv, analiza Anova (F=1.038, p=0.319). Pentru Locația A, valorile emisiilor medii anuale de CO_2 măsurate prin metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție arată că diferența este nesemnficativă.

În Figura 4.4. este reprezentată variația emisiilor medii lunare de CO_2 în Locația B.

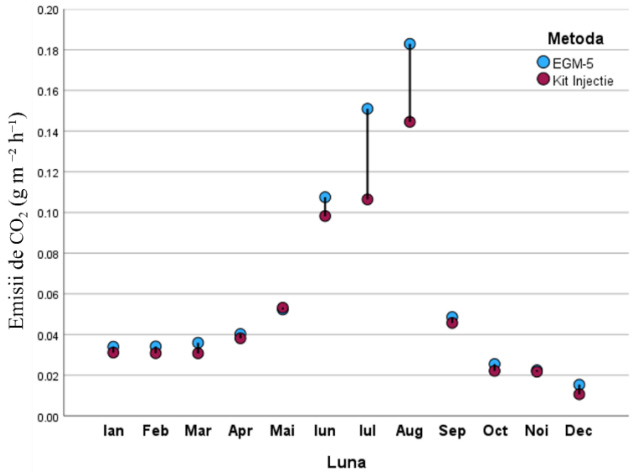


Fig. 4.4. Variația lunară a emisiilor medii de CO_2 din Locația B măsurate cu metoda EGM-5 și cu metoda Kitului de Injecție

Rezultatele testului t (t=0.009, p=0.492) au indicat o diferență nesemnificativă statistic între cele două metode de măsurare pentru mediile anuale ale emisiilor de CO_2 în Locația B, respectiv, analiza ANOVA (F=0.242, p=0.628). Pentru Locația B, valorile emisiilor medii anuale de CO_2 măsurate prin metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție arată că diferența este nesemnficativă.

În Figura 4.5. este reprezentată variația emisiilor medii lunare de CO_2 în Locația C.

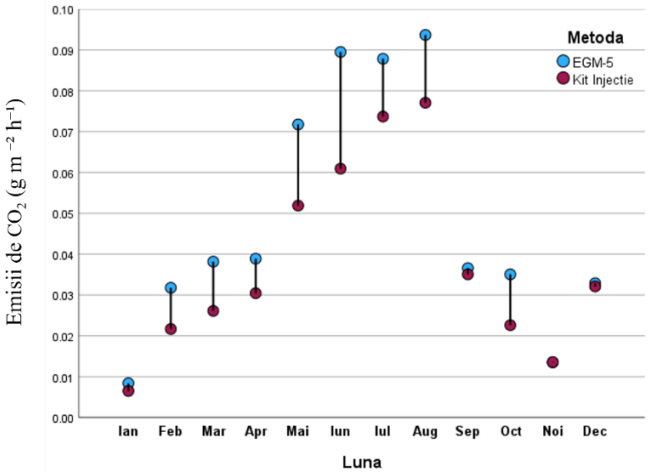


Fig. 4.5. Variația lunară a emisiilor medii de CO_2 din Locația C măsurate cu metoda EGM-5 și cu metoda Kitului de Injecție

Rezultatele testului t (t=0.970, p=0.260) au indicat o diferență nesemnificativă statistic între cele două metode de măsurare pentru mediile anuale ale emisiilor de CO_2 în Locația C, respectiv, analiza ANOVA (F=0.941, p=0.941). Pentru Locația C, valorile emisiilor medii

anuale de CO_2 măsurate prin metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție arată că diferența este nesemnficativă.

În Tabelul 4.4 sunt reprezentate rezultatele testului t și ANOVA pentru diferențele medii anuale ale emisiilor de CO_2 între metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție în cele trei locații.

Tabel 4.4. Rezultatele testului t și ANOVA pentru diferențele medii anuale ale emisiilor de CO_2 între metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție în locațiile A, B și C

Locația	Metoda	Testul t			ANOVA	
		Diferență medii anuale ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	t	p (Sig.)	F	p (Sig.)
A	EGM-5	0.112	1.019	0.122	1.038	0.319
	Kit Injecție					
B	EGM-5	0.009	0.492	0.377	0.242	0.628
	Kit Injecție					
C	EGM-5	0.0105	0.970	0.260	0.941	0.343
	Kit Injecție					

Variația mediilor lunare a emisiilor de CO_2 măsurate cu metodele EGM-5 și Kitul de Injecție în cele trei locații de la interfață apă-atmosferă (Locația A, Locația B și Locația C) de-a lungul anului este prezentată în Figura 4.6. Locația A arată o variație anuală semnificativ mai mare a valorilor măsurate, ceea ce indică o variabilitate mare. În schimb, pentru Locațiile B și C, variațiile mediilor anuale între cele două metode de măsurare sunt mult mai mici.

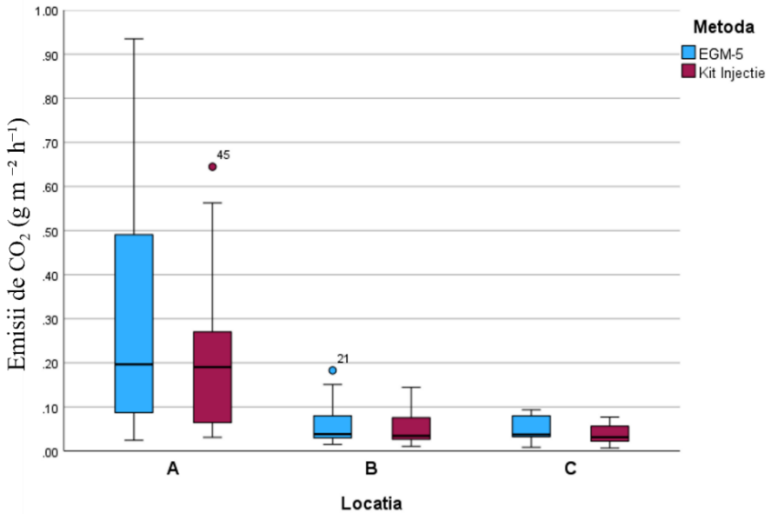


Fig. 4.6. Variația mediilor lunare ale emisiilor de CO_2 măsurate cu metoda EGM-5 și cu metoda Kitului de Injecție la nivel de locații

Analiza statistică a corelațiilor dintre cele două metode de masurare a emisiilor de CO_2 (Tabel 4.5) pe locațiile investigate a evidențiat o relație puternic pozitivă și semnificativă [59] cu valori ale coeficientului de corelație Pearson: Locația A ($r=0.956$; $p<0.01$), Locația B ($r=0.988$; $p<0.01$), Locația C ($r=0.976$; $p<0.01$). Acest aspect arată că există o interdependență între locații în ceea ce privește emisiile de CO_2.

Tabel 4.5. Corelația coeficientului Pearson între metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție în Locațiile A, B și C

			Locația A		Locația B		Locația C	
			EGM-5	Kit Injectie	EGM-5	Kit Injectie	EGM-5	Kit Injectie
Locația A	EGM-5	Corelatia Pearson	1					
		Sig. (1-tailed)						
	Kit Injectie	Corelatia Pearson	**0.956***	1				
		Sig. (1-tailed)	<0.01					
Locația B	EGM-5	Corelatia Pearson	**0.900***	**0.841***	1			
		Sig. (1-tailed)	<0.01	<0.01				
	Kit Injectie	Corelatia Pearson	**0.939***	**0.903***	**0.988***	1		
		Sig. (1-tailed)	<0.01	<0.01	<0.01			
Locația C	EGM-5	Corelatia Pearson	**0.925***	**0.866***	**0.868***	**0.889***	1	
		Sig. (1-tailed)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		
	Kit Injectie	Corelatia Pearson	**0.898***	**0.853***	**0.902***	**0.903***	**0.976***	1
		Sig. (1-tailed)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	

*. Corelația este semnificativă la nivelul 0.01 (1-tailed).

Există o interdependență între metodele de măsurare folosite pentru determinarea emisiilor de CO_2 în locațiile investigate, astfel încât, se pot elabora modele statistico-matematice pentru zonele umede periurbane. Modelele statistico-matematice privind corelația dintre cele două metode de măsurare a emisiilor de CO_2 între mediile lunare sunt centralizate si prezentate prezentate în Tabelul 4.6 și arată o corelație foarte puternică [59] în toate cele trei locații analizate r(0.955÷0.991), respectiv cu S(0.0052÷0.997).

Tabel 4.6. Modele statistico-matematice privind corelația dintre metodele de masurare EGM-5 și Kitului de Injecție în cele trei locații

Locația	Variabila independentă	S	r	Ecuația de regresie
A	EGM-5	0.0643	0.955	$a=0.601b+0.0335b^2$
	Kit de Injecție	0.0997	0.955	$b=1.634a-0.2153a^2$
B	EGM-5	0.0057	0.991	$a=0.977b-1.2146b^2$
	Kit de Injecție	0.0085	0.989	$b=1.025a+1.8841a^2$
C	EGM-5	0.0052	0.976	$a=0.784b-0.1200b^2$
	Kit de Injecție	0.0065	0.979	$b=1.350a-1.2874a^2$
a=metoda EGM-5 b=metoda Kit de Injecție				

4.3.2. Analiza comparativă în funcție de anotimp a metodelor de măsurare a emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă

Fenomenul de emisii de CO_2 este dependent de climă și implicit de anotimpuri, cu precădere în contextul schimbărilor climatice, ceea ce necesită o analiză comparativă pe anul investigat. În continuare se prezintă pentru fiecare locație unde s-au realizat măsurători, distribuția emisiilor de CO_2 în funcție de cele două metode de măsurare.

În Figura 4.7 este reprezentată variația distribuției emisiilor de CO_2 din Locația A, unde se observă următoarele aspecte:

- vara și toamna există o variabilitate mai mare a emisiilor,
- iarna sunt valorile cele mai scăzute și au o variabilitate nesemnificativă.
- primăvara este o variabilitate medie a emisiilor

Analiza corelației coeficientul Pearson între cele două metode de măsurare a emisiilor de CO_2 care s-a dovedit a fi puternic pozitivă și semnificativă statistic [59] independent de anotimp, dar pentru elaborarea unor modele statistico-matematice pentru zonele umede periurbane în funcție de anotimp sunt necesare alte seturi de date pe încă minim trei ani pentru extinderea bazei de date și a nivelului de încredere.

În anotimpurile iarna și primăvara, testul t (t=0.578, p=0.295) și ANOVA (p=0.594) și respectiv, testul t (t=0.996, p=0.819) și ANOVA (p=0.992), nu indică diferențe semnificative între metode. Vara, testul t (t=2.094, p=0.771) arata o diferență semnificativă, dar ANOVA (p=0.104) arată că aceasta nu este semnificativă din punct de vedere statistic. În toamnă, de asemenea, testul t (t=0.249, p=0.733) și analiza ANOVA (p=0.815) nu relevă diferențe semnificative între metode.

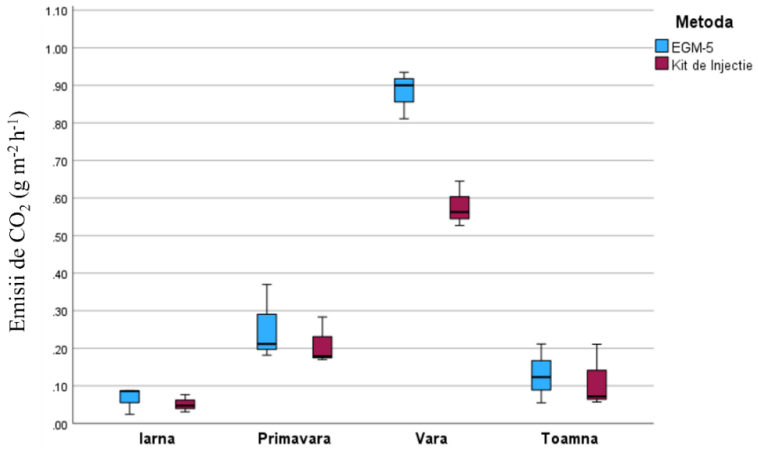


Fig. 4.7. Variația mediilor lunare ale emisiilor de CO_2 la nivel de anotimp în funcție de metodă (EGM-5 și Kitul de Injecție) pentru Locația A

În Figura 4.8 este reprezentată variația distribuției emisiilor de CO_2 din Locația B, unde se observă următoarele aspecte:

- vara există o variabilitate mai mare a emisiilor,
- iarna sunt valorile cele mai scăzute și au o variabilitate restrânsă,
- primăvara și toamna au o variabilitate medie a emisiilor.

Analiza corelației coeficientul Pearson între cele două metode de măsurare a emisiilor de CO_2 care s-a dovedit a fi puternic pozitivă și semnificativă statistic [59] independent de anotimp, dar pentru elaborarea unor modele statistico-matematice pentru zonele umede

periurbane în funcție de anotimp sunt necesare alte seturi de date pe încă minim trei ani pentru extinderea bazei de date și a nivelului de încredere.

În această locație, testul t și analiza ANOVA nu indică diferențe semnificative între metodele EGM-5 și Kit Injecție în niciun anotimp, astfel că diferențele observate nu sunt semnificative din punct de vedere statistic.

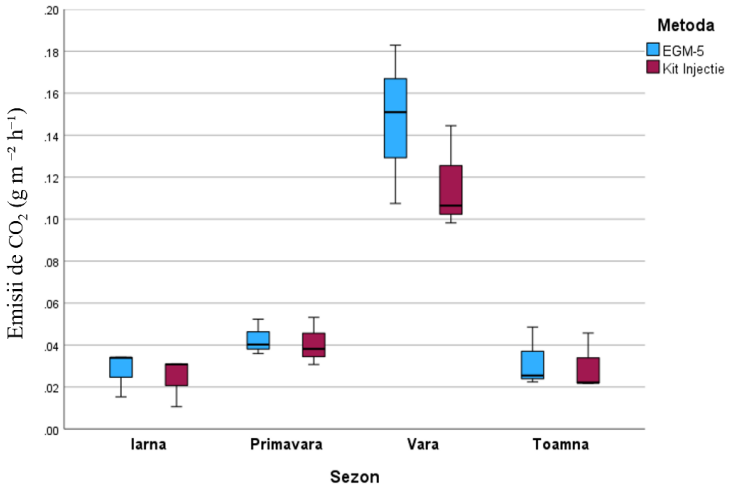


Fig. 4.8. Variația mediilor lunare ale emisiilor de CO_2 la nivel de anotimp în funcție de metodă (EGM-5 și Kitul de Injecție) pentru Locația B

În Figura 4.9 este reprezentată variația distribuției emisiilor de CO_2 din Locația C, unde se observă următoarele aspecte:

- vara există o variabilitate mică a emisiilor,
- iarna si toamna sunt valorile cele mai scăzute și au o variabilitate moderată,
- primăvara prezintă o variabilitate medie a emisiilor.

Analiza corelației coeficientul Pearson între cele două metode de măsurare a emisiilor de CO_2 care s-a dovedit a fi puternic pozitivă și semnificativă statistic [59] independent de anotimp, dar pentru elaborarea unor modele statistico-matematice pentru zonele umede periurbane în funcție de anotimp sunt necesare alte seturi de date pe încă minim trei ani pentru extinderea bazei de date și a nivelului de încredere.

În această locație, testul t și analiza ANOVA nu indică diferențe semnificative între metodele EGM-5 și Kit Injecție în niciun anotimp, astfel că diferențele observate nu sunt semnificative din punct de vedere statistic.

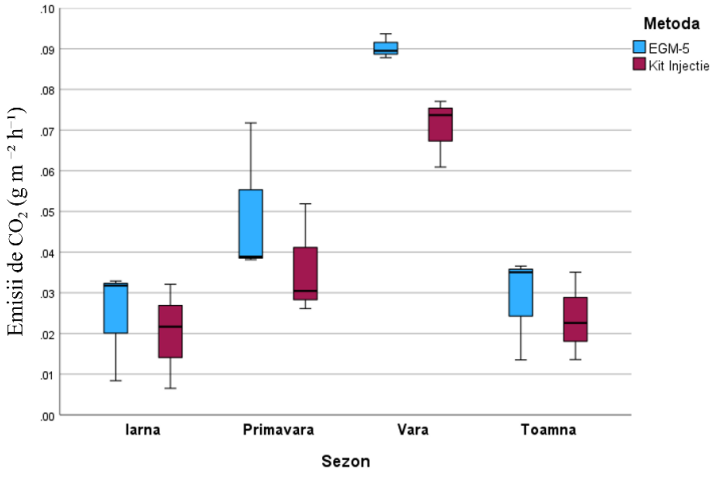


Fig. 4.9. Variația mediilor lunare ale emisiilor de CO_2 la nivel de anotimp în funcție de metodă (EGM-5 și Kitul de Injecție) pentru Locația C

4.3.3. Metodă de îmbunătățire a măsurătorilor de emisii de CO_2 în zone umede ținând cont de particularitățile acestora

Din analiza generală a rezultatelor obținute pe cele trei locații din zona investigată rezultă faptul că emisiile de CO_2 sunt dependente de particularitățile zonelor investigate. În acest context, pentru a asigura un nivel de încredere ridicat în ceea ce privește emisiile de CO_2 pe întreaga zonă umedă a fost propusă introducerea unui coeficient de ajustare (C_{ND}) care să țină cont de aceste particularități prezentate în Capitolul 3.2. În Figura 4.10 sunt prezentate valorile ajustate în funcție de particularitățile geometricei și de distribuție a vegetației ale zonelor investigate.

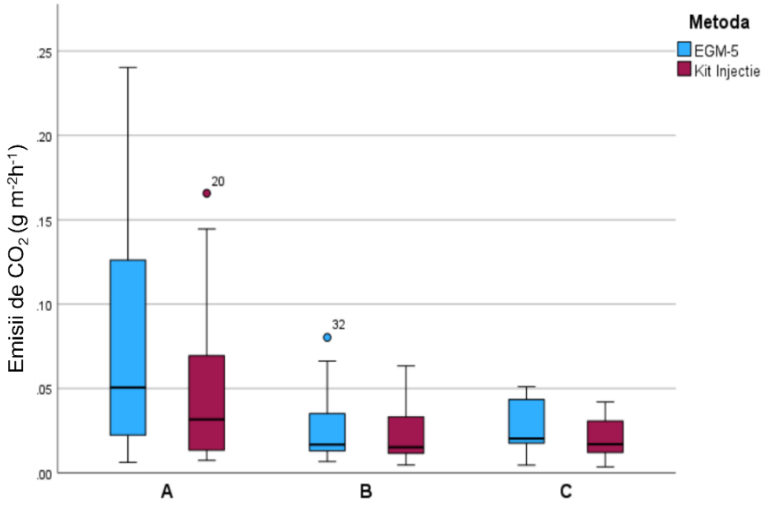


Fig. 4.10 Variația mediilor lunare ale emisiilor de CO_2 ajustate pentru metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție la nivel spațial

Din analiza comparativă a variației mediei lunare a emisiilor de CO_2 măsurate vs. ajustate cu coeficientul C_{ND} se observă reducerea amplitudiniii de variații a emisiilor și prezentarea cu un grad mai ridicat de încredere a dinamicii acestora pe intreaga zonă umedă investigată și redarea cât mai precisă pe întreaga arie.

Rezultatele testului t (t=2.812, p=0.017 pentru Zona A; t=2.227, p=0.048 pentru Zona B; t=4.182 pentru Zona C) au indicat o diferență semnificativă statistic între cele două metode de măsurare pentru mediile anuale ale emisiilor de CO_2 ajustate prin aplicarea coeficientului C_{ND}, dar analiza ANOVA nu confirmă diferențele semnificative între grupuri (F=1.038; p=0.319 pentru Zona A; F=0.242; p=0.628 pentru Zona B; respectiv F=0.942; p=0.342 pentru Zona C).

În acest context s-au elaborat modele statistico-matematice care să fie general valabile pe întraega zonă umedă investigată. În Tabelul 4.7 sunt prezentate corelațiile statistico-matematice între măsurătorile EGM-5 și Kitul de Injecție ce sunt caracterizate prin faptul că, pentru cele trei zone s-a obținut un coeficient de corelație r(0.955÷0.991) precum și eroarea standard S(0.0025÷0.0256).

Tabel 4.7. Modele statistico-matematice privind corelația dintre metodele EGM-5 și Kitului de Injecție la nivel spațial pe întreaga zonă investigată

Zona	Variabila independentă	S	r	Ecuația de regresie
A	EGM-5	0.0165	0.955	$a=0.601b+0.1306b^2$
	Kit de Injecție	0.0256	0.955	$b=1.634a-0.8376a^2$
B	EGM-5	0.0025	0.991	$a=0.977b-2.7669b^2$
	Kit de Injecție	0.0035	0.989	$b=1.025a+4.2918a^2$
C	EGM-5	0.0028	0.976	$a=0.784b-0.2203b^2$
	Kit de Injecție	0.0036	0.976	$b=1.350a-2.3633a^2$
a=metoda EGM-5 b=metoda Kit de Injecție				

4.3.4. Analiza comparativă în funcție de anotimp a metodelor de măsurare a emisiilor de CO_2 îmbunătățite pentru fiecrae zonă

Distribuția în funcție de anotimp a emisiilor de CO_2 ajustate pentru Zona A măsurate cu metodele EGM-5 și Kitul de Injecție prezintă o variabilitate mai mare în primăvară și vară.

În Tabelul 4.8. este prezentată matricea comparativă dintre media lunară măsurată vs medie lunară ajustată pe fiecare anotimp și metodă din Zona A.

Tabel 4.8. Matrice comparativă între mediile lunare măsurate și ajustate ale emisiilor de CO_2 în funcție de anotimp metodă pentru Zona A

Zona A	Iarna		Primăvara		Vara		Toamna	
	EGM-5	Kit Injecție	EGM-5	Kit Injecție	EGM-5	Kit Injecție	EGM-5	Kit Injecție
Medie valori măsuratori ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.066	0.052	0.254	0.16	0.882	0.578	0.129	0.113
Medie ajustată ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.0169	0.0132	0.0653	0.0413	0.2095	0.0524	0.0333	0.029
Diferența medii între metode (valori măsurate) ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.014		0.094		0.304		0.016	
Diferența medii între metode (valori ajustate) ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.0037		0.024		0.0524		0.0043	
SD (valori masurate)	0.036	0.023	0.101	0.127	0.063	0.06	0.078	0.084
SD (valori ajustate)	0.0092	0.0059	0.0259	0.0327	0.0456	0.0524	0.0201	0.0218

Distribuția în funcție de anotimp a emisiilor de CO_2 ajustate pentru Zona B măsurate cu metodele EGM-5 și Kitul de Injecție prezintă o variabilitate mai mare în primăvară și vară.

În Tabelul 4.9. este prezentată matricea comparativă dintre media lunară măsurată vs medie lunară ajustată pe fiecare anotimp și metodă din Zona B.

Tabel 4.9. Matrice comparativă între mediile lunare măsurate și ajustate ale emisiilor de CO_2 în funcție de anotimp metodă pentru Zona B

Zona B	Iarna		Primăvara		Vara		Toamna	
	EGM-5	Kit Injecție	EGM-5	Kit Injecție	EGM-5	Kit Injecție	EGM-5	Kit Injecție
Medie valori măsuratori ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.0278	0.0242	0.0428	0.0407	0.1471	0.1164	0.0321	0.0298
Medie ajustată ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.0122	0.0106	0.0187	0.0178	0.0645	0.0108	0.0141	0.013
Diferența medii între metode (valori măsurate) ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.0036		0.0021		0.0307		0.0023	
Diferența medii între metode (valori ajustate) ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.0016		0.0179		0.0537		0.0011	
SD (valori masurate)	0.0108	0.0118	0.0085	0.0115	0.0378	0.0247	0.0143	0.0137
SD (valori ajustate)	0.0047	0.0051	0.0229	0.005	0.0166	0.0108	0.0062	0.006

Distribuția în funcție de anotimp a emisiilor de CO_2 ajustate pentru Zona C măsurate cu metodele EGM-5 și Kitul de Injecție prezintă o variabilitate mai mare, de asemeneaza, în primăvară și vară.

In Tabelul 4.10. este prezentată matricea comparativă dintre media lunară măsurată vs medie lunară ajustată pe fiecare anotimp și metodă din Zona C.

Tabel 4.10. Matrice comparativă între mediile lunare măsurate și ajustate ale emisiilor de CO_2 în funcție de anotimp metodă pentru Zona C

Zona C	Iarna		Primăvara		Vara		Toamna	
	EGM-5	Kit Injecție	EGM-5	Kit Injecție	EGM-5	Kit Injecție	EGM-5	Kit Injecție
Medie valori măsuratori ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.0244	0.0201	0.0496	0.0361	0.0903	0.0706	0.0284	0.0237
Medie ajustată ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.0122	0.0106	0.0187	0.0178	0.0645	0.051	0.0141	0.013
Diferența medii între metode (valori măsurate) ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.0043		0.0135		0.0198		0.0047	
Diferența medii între metode (valori ajustate) ($g\ m^{-2}h^{-1}$)	0.0016		0.0009		0.0135		0.0011	
SD (valori masurate)	0.0138	0.0129	0.0192	0.0138	0.003	0.0085	0.0129	0.0107
SD (valori ajustate)	0.0047	0.0051	0.0037	0.0041	0.0191	0.0166	0.0062	0.006

În Tabelul 4.11 sunt prezentate valorile medii în funcție de anotimp și metodă în fiecare zona analizată pentru a reda variația emisiilor de CO_2, punând în evidență variațiile sezoniere și diferențele între zone.

Tabel 4.11. Tabel centralizator al valorilor medii ale emisiilor de CO_2 măsurate vs. ajustate în funcție de anotimp și metodă, pentru fiecare zonă

Anotimp	Metodă	Medie (g $m^{-2}h^{-1}$)					
		Zona A	Zona A*	Zona B	Zona B*	Zona C	Zona B*
Iarna	EGM-5	0.066	0.0169	0.0278	0.0122	0.0244	0.0122
	Kit Injecție	0.052	0.0132	0.0242	0.0106	0.0201	0.0106
Primăvara	EGM-5	0.254	0.0653	0.0428	0.0187	0.0496	0.0187
	Kit Injecție	0.16	0.0413	0.0407	0.0178	0.0361	0.0178
Vara	EGM-5	0.882	0.2095	0.1471	0.0645	0.0903	0.0645
	Kit Injecție	0.578	0.0524	0.1164	0.0108	0.0706	0.051
Toamna	EGM-5	0.129	0.0333	0.0321	0.0141	0.0284	0.0141
	Kit Injecție	0.113	0.029	0.0298	0.013	0.0237	0.013
*valorile ajustate în funcție de particularitățile geometricei și de distribuție a vegetației							

Metoda EGM-5 prezintă o sensibilitate mai crescută și oferă valori mai mari comparativ cu metoda Kitul de Injecție, în special în lunile de vară. Diferențele variază în funcție de anotimp și locație, ceea ce indică faptul că pentru estimarea mai precisă a emisiilor, metoda EGM-5 ar putea fi mai potrivită. Cu toate acestea, pentru a asigura o precizie mai ridicată a măsurătorilor, se recomandă utilizarea simultană a metodei EGM-5 și a Kitului de Injecție. Complementaritatea celor două tehnici poate contribui la o evaluare mai apropiată de fenomenele naturale din arealul zonelor umede periurbane a emisiilor de CO_2, reducând incertitudinile asociate fiecărei metode în condiții sezoniere diferite. Se recomandă pentru sezonul cald de la temperatura medie zilnică de 25°C să se folosească metodă EGM-5, respectiv ecuațiile din Tabelul 4.6 și Tabelul 4.7.

4.4. Metode de îmbunătățire a estimării emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă

Este cunoscut faptul că emisiile de CO_2 sunt direct dependente de doi factori importanți, și anume, temperatura aerului (T_{aer}), respectiv presiunea atmosferică (P*), fapt ce poate ajuta la extrapolarea bazei de date existente obținute prin măsurători orare discontinue.

Extrapolarea emisiilor de CO_2 pentru anul 2022 s-a realizat pe baza T_{aer} și P* pentru fiecare locație din zona de studiu deoarece ambele metode de măsurare depind de acești parametri de climă. Pentru o mai bună estimare a emisiilor reale de CO_2 în extrapolare, emisiile medii lunare au fost ajustate, luând în considerare diferențele de emisii dintre zi și noapte pe baza măsurătorilor efectuate pentru determinarea variațiilor. Astfel, emisiile medii lunare de CO_2 au fost ponderate prin introducerea unui coeficient bazat pe durata intervalelor orare de zi și noapte specifice fiecărei luni. Valorile ajustate pe baza ipotezei care ia în considerare variația zi și noapte evidențiază variații semnificative la nivel de anotimp și oferă estimări mai precise. Figura 4.11 arată valorile emisiilor de CO_2 extrapolate și corectate, obținute prin metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție pentru cele 3 locații.

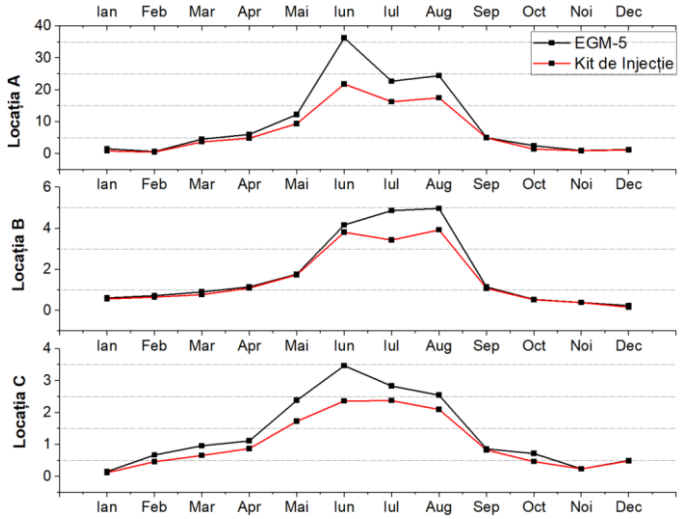


Fig. 4.11. Valorile emisiilor de CO_2 extrapolate și ajustate pe baza variației zi-noapte obținute prin metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție pentru Locațiile A, B și C

Există o interdependență între metodele de măsurare folosite pentru determinarea emisiilor de CO_2 în locațiile investigate, astfel încât, se pot elabora modele statistico-matematice pentru zonele umede periurbane. Modelele statistico-matematice privind corelația dintre emisiile de CO_2 extrapolate pentru cele două metode de măsurare sunt centralizate si prezentate prezentate în Tabelul 4.12 și arată o corelație foarte puternică [59] în toate cele trei locații analizate r(0.986÷0.998), respectiv cu S(0.136÷0.854).

Tabel 4.12. Modele statistico-matematice privind corelația dintre emisiile de CO_2 extrapolate pentru metodele de măsurare EGM-5 și Kitului de Injecție în cele trei locații

Locația	Variabila independentă	S	r	Ecuația de regresie
A	EGM-5	0.419	0.998	$a=0.891b+0.0078b^2$
	Kit de Injecție	0.854	0.997	$b=0.957a+0.029a^2$
B	EGM-5	0.184	0.992	$a=1.046b-0.054b^2$
	Kit de Injecție	0.287	0.988	$b=1.048a+0.0508a^2$
C	EGM-5	0.136	0.987	$a=0.0.858b-0.037b^2$
	Kit de Injecție	0.192	0.986	$b=1.259a+0.0125a^2$
a=metoda EGM-5 b=metoda Kit de Injecție				

Pentru a asigura un nivel de încredere ridicat în ceea ce privește emisiile de CO_2 pe întreaga zonă umedă a fost propusă extrapolarea prin introducerea unui coeficient de ajustare care să țină cont de particularitățile zonelor investigate, prezentate în Capitolul 3.2.

Figura 4.12 arată valorile emisiilor de CO_2 extrapolate și corectate, obținute prin metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție pentru cele 3 zone. Zona A prezintă, în continuare, cele mai mari diferențe între cele două modele în lunile de vară, în timp ce pentru Zona B și Zona C, diferențele dintre valorile extrapolate pentru cele două metode sunt mult mai reduse.

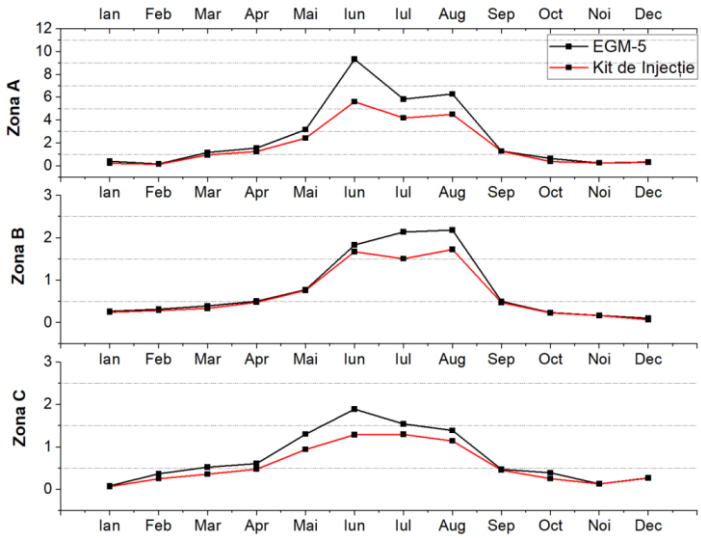


Fig. 4.12 Valorile emisiilor de CO_2 extrapolate și corectate, obținute prin metoda EGM-5 și metoda Kitului de Injecție pentru Zonele A, B și C

Corelația Pearson arată pentru valorile extrapolate ale celor două metode în Zona un coeficient de 0.991 ($p<0.01$), pentru Zona B de 0.988; ($p<0.01$) și pentru Zona de 0.986; ($p<0.01$).

Modelele statistico-matematice privind corelația dintre emisiile de CO_2 extrapolate în funcție de particularitățile geometrice si distribuție a vegetație pentru cele două metode de măsurare sunt centralizate si prezentate prezentate în Tabelul 4.13 și arată o corelație foarte puternică [59] în toate cele trei zone analizate r(0.986÷0.998), respectiv cu S(0.081÷0.287).

Tabel 4.13. Modele statistico-matematice privind corelația dintre emisiile de CO_2 extrapolate pentru metodele de masurare EGM-5 și Kitului de Injecție în cele trei zone

Zona	Variabila independentă	S	r	Ecuația de regresie
A	EGM-5	0.108	0.998	$a=0.891b-0.0307b^2$
	Kit de Injecție	0.220	0.997	$b=0.957a+0.1154a^2$
B	EGM-5	0.081	0.992	$a=1.046b-0.054b^2$
	Kit de Injecție	0.287	0.988	$b=1.048a+0.1156a^2$
C	EGM-5	0.104	0.986	$a=0.1.259b-0.0408b^2$
	Kit de Injecție	0.192	0.986	$b=1.259a+0.0125a^2$
a=metoda EGM-5 b=metoda Kit de Injecție				

În concluzie, pe baza ecuațiilor de regresie și având în vedere interdependența metodelor, se recomandă utilizarea în continuare a metodei EGM-5 (care are la bază principiul unei pompe de colectare a aerului, adecvată pentru măsurători dinamice). În situațiile în care sunt disponibile doar măsurători realizate cu metoda Kitului de Injecție, se recomandă aplicarea relațiilor prezentate în Tabelul 4.13., întrucât modelele statistico-matematice incluse sunt mai generale și au un nivel de încredere ridicat, independent de factori precum temperatura, presiunea, variațiile zi–noapte sau de particularitățile geometrice ale zonei.

4.5. Emisiile de CO_2 măsurate in-situ la interfața sol-atmosferă cu metoda metoda EGM-5

Variațiile emisiilor de CO_2 pentru locațiile SC și SP (Figura 4.13) arată diferențe în dinamica emisiilor lunare. În perioada Ianuarie-Aprilie, Locația SC are valori ale emisiilor ușor mai mari decât Locația SP, dar magnitudinea acestora rămâne redusă. Începand cu luna Mai, diferențele dintre locații devin mai evidente, în Locația SC înregistrându-se 0.5716 g m^{-2} h^{-1}, în timp ce în Locația SP s-a măsurat un maxim de 0.2883 g m^{-2} h^{-1}. În August, în Locația SP s-a atins un maxim al emisiilor de 1.375 g m^{-2} h^{-1}, comparativ cu Locația SC, unde s-au înregistrat 0.2839 g m^{-2} h^{-1}. Aceasta este cea mai mare diferență între locații pe parcursul anului, cu Locația SP având emisiile semnificativ mai ridicate decât Locația SC. Începând cu luna Septembrie, emisiile din Locația SC rămân moderate, în timp ce emisiile din SP scad brusc ajungând la un minim de 0.0612 g m^{-2} h^{-1} în luna Decembrie.

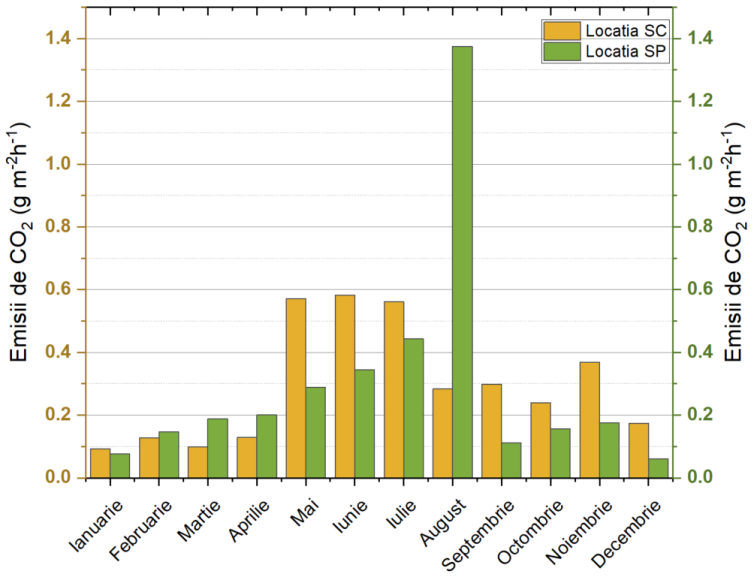


Fig. 4.13. Variația spațială și temporală a emisiilor de CO_2 de la suprafața sol-atmosferă

În Tabelul 4.14 sunt centralizate coeficientul de corelatie Pearson, rezultatele testului t și ANOVA pentru diferențele medii anuale ale emisiilor de CO_2 din Locația SC și Locația SP.

Tabel 4.14. Rezultatele coeficientului de corelatie Pearson, testului t și ANOVA pentru diferențele medii ale emisiilor de CO_2 din Locația SC și Locația SP

Coeficient corelatie Pearson		Testul t			ANOVA	
r	p	Diferență medii anuale (g m^{-2} h^{-1})	t	p (Sig.)	F	p (Sig.)
0.880	0.009	0.067	1.209	0.272	0.422	0.528

Variațiile specifice celor două locații reflectă diferențele în intensitatea și ritmul activităților metabolice din sol pe parcursul anului, cu Locația SC arătând o activitate mai stabilă, în timp ce Locația SP evidențiază fluctuații mai accentuate. Cu toate acestea, la nivel anual, testul t (t=1.209; p=0.272) si analiza ANOVA (F=0.422; p=0.528) indică lipsa unei diferențe semnificative statistic între locații.

4.6. Dinamica temporală și spațială a emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă

4.6.1. Analiza variabilității temporale a fluxului de CO_2 de la interfața apă-atmosferă în funcție de variabilitatea spațială

Variațiile lunare ale emisiilor de CO_2 utilizând valorile extrapolate din (Tabelul 4.32) pentru metoda EGM-5 aplicată în Zonele A, B și C sunt redate în Figura 4.14. In intervalul Ianuarie-Mai, emisiile medii cresc gradual, indicând o creștere treptată a activităților biologice. În perioada Iunie-August, emisiile înregistrează o creștere semnificativă în toate zonele, cu valori notabile în Iunie pentru Zona A, când emisiile ajung la 9.33 g m^{-2} zi^{-1}. Începand cu luna Septembrie, emisiile de CO_2 prezintă o scădere treptată, deși rămân relativ ridicate comparativ cu începutul anului.

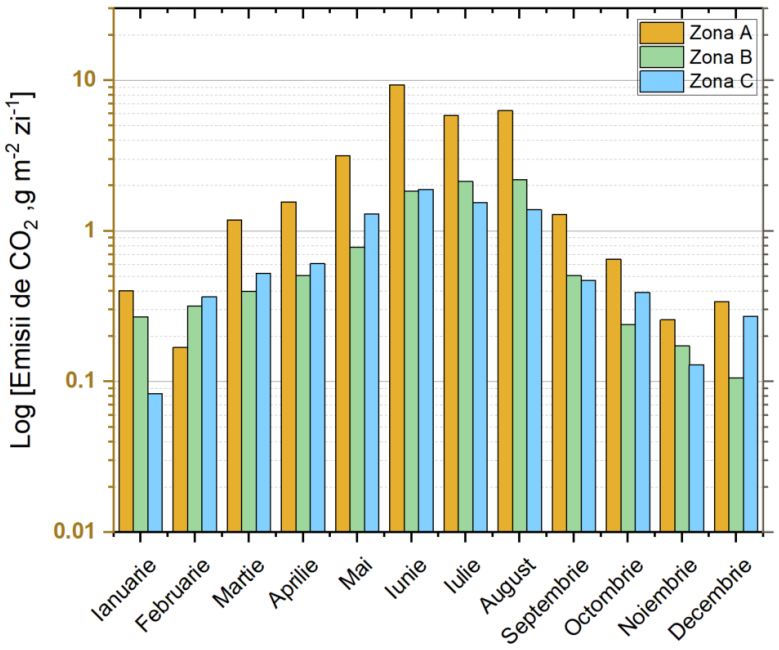


Fig. 4.14. Variația lunară și spațială a emisiilor de CO_2 în funcție de zone

S-au elaborat modele statistico-matematice care să fie general valabile pe întraega arie a zonei umede investigate la nivel anual. În Tabelul 4.15 sunt prezentate corelațiile statistico-matematice pentru emisiile de CO_2 în funcție de T_{aer} și P* în fiecare dintre cele trei zone, unde coeficientul de corelație este r(0.855÷0.955) precum și eroarea standard este S(0.332÷5.149).

Tabel 4.15. Modele de regresie între emisiile de CO_2 și principalii parametri meteorologici în zonele investigate

Model de regresie	Parametru statistic	Zona A	Zona B	Zona C
Regresie simplă E=f(T)	**R^2**	0.864	0.874	0.857
	Eq.	$E= 8.72T-0.677T^2$	$E= 27.7T-7.27T^2$	$E=25.3T-6.28T^2$
	SD	5.026	4.847	5.149
Regresie simplă E=f(P*)	**R^2**	0.864	0.955	0.855
	Eq.	$E=-33.18P^*+1110.4\ P^{*2}$	$E=5.796P^*-1.293P^{*2}$	$E=36.29P^*-88.13P^{*2}$
	SD	1.587	0.932	0.332
Regresie multiplă E=f(T,P*)	**R^2**	0.809	0.873	0.891
	Eq.	$E=0.257T-0.088P^*$	$E=0.71T-0.015P^*$	$E=0.054T-0.002P^*$
	SD	1.840	0.425	0.342
$P^*=P/1000$				

Pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă din zonele umede periurbane se recomandă utilizarea ecuației de regresie (4.1.) care ia în considerare atât variația zi-noapte, cât și forma geometrică totală și distribuția spațială a vegetației.

$$E=0.613T-0.009P* \quad (4.1.)$$

4.7. Dinamica temporală și spațială a emisiilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă

4.7.1. Analiza variabilității temporale a fluxului de CO_2 de la interfața sol-atmosferă în funcție de variabilitatea spațială și distribuția vegetației

Variațiile lunare ale emisiilor de CO_2 utilizând valorile extrapolate anterior pentru Locațiile SC și SP sunt redate în Figura 4.15 [59].

În intervalul Ianuarie-Aprilie, ambele locații înregistrează valori scăzute ale emisiilor de CO_2. Valorile cresc până în Aprilie, indicând o activitate biologică în creștere în ambele locații. Începând cu luna Mai, Locația SC înregistrează unul dintre maximele sale anuale, atingând o valoare de 18,99 g m^{-2} zi^{-1}, în timp ce Locația SP înregistrează doar 9,58 g m^{-2} zi^{-1}, diferență semnificativă ce arată o activitate microbiană mai intensă sau condiții locale mai favorabile în Locația SC, care favorizează emisiile ridicate de CO_2. În Iunie, Locația SC ajunge la valoarea maximă a anului de 22,58 g m^{-2} zi^{-1}, în timp ce Locația SP înregistrează cele mai mari emisii în luna August, cu o valoare de 37,35 g m^{-2} zi^{-1}. Începând cu luna Septembrie până la finalul anului, emisiile de CO_2 scad treptat în ambele locații. Testul t (t=1.205, p=0.274) indică lipsa unei diferențe semnificative între locații, iar analiza ANOVA (F=0.361, p=0.559) susține aceste rezultate.

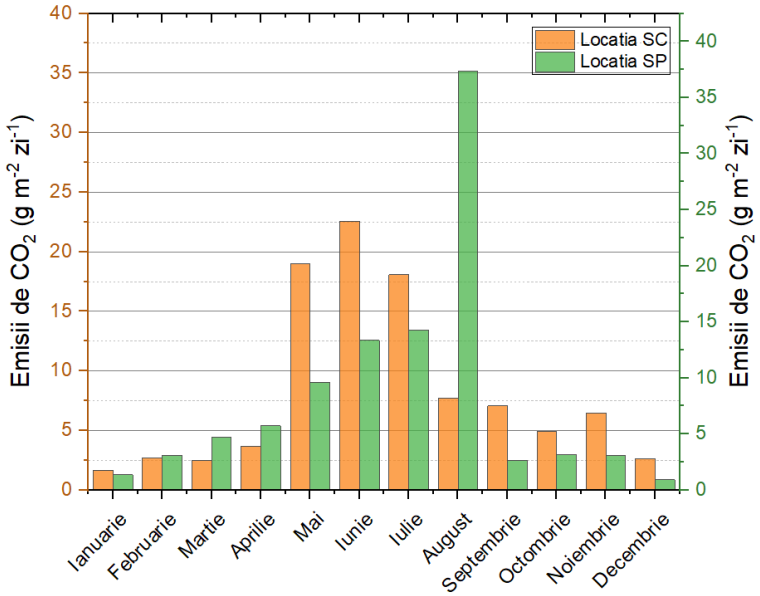


Fig. 4.15. Variația lunară a emisiilor de CO_2 măsurate în Locațiile SC și SP

Variațiile emisiilor de CO_2 la nivel de anotimp în locațiile SC și SP reprezentate în Figura 4.16 arăta diferențele de magnitudine ale emisiilor de CO_2 dintre aceste locații în funcție de anotimp.

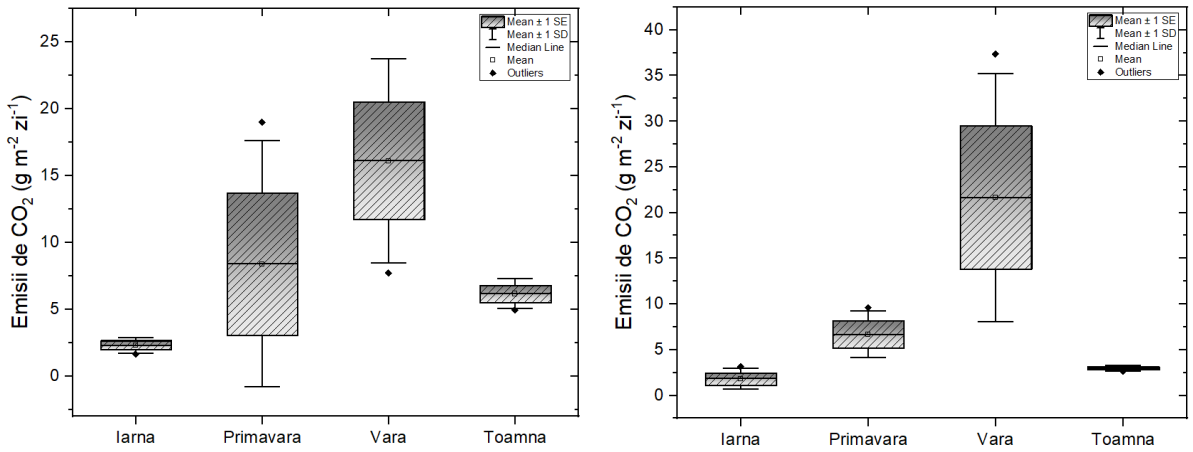


Fig. 4.16. Variația la nivel de anotimp a emisiilor de CO_2 măsurate în Locațiile SC (a)) și SP (b))

Diferențele dintre cele două locații prezintă medii mai ridicate iarna și primăvara, dar cu o variabilitate diferită în Locația SC, în timp ce Locația SP are emisii mai scăzute și mai stabile. Vara, emisiile de CO_2 au fost considerabil mai ridicate în Locația SP comparativ cu Locația SC, din cauza evenimentului de inundare a solului, însă diferențele observate nu au fost confirmate de testul t și analiza ANOVA, care au indicat lipsa unei semnificații statistice.

S-au elaborat modele statistico-matematice care să fie general valabile pentru emisiile de CO_2 de la interfața sol-atmosferă în funcție de principalii parametri dependenți. În Tabelul 4.16 sunt prezentate corelațiile statistico-matematice pentru emisiile de CO_2 în funcție de T_{aer}, T_{sol}, P* și M_{sol} în Locațiile SC și SP, unde coeficientul de corelație este r(0.823÷0.955) precum și eroarea standard de S(0.004÷5.277). Pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfata sol-atmosfera în funcție de principalii parametri se recomandă utilizarea ecuațiilor de regresie prezentate în Tabel 4.16. Ecuația generală pentru soluri depinde de tipul de sol, ceea ce implică o aprofundare a unei analize de acest sens.

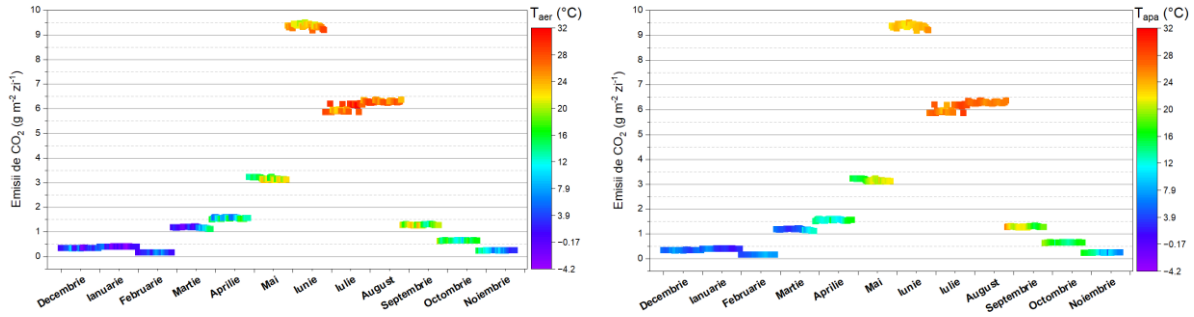
Tabel 4.16. Modele statistico-matematice privind relația dintre emisiile de CO_2 și principalii parametri fizici ai solului pentru SC și SP

Parametru		SC	SP
Regresie simplă $E=f(T_{aer})$	R^2	0.873	0.849
	Eq.	$E= 2.94T_{aer}-0.087T_{aer}^2$	$E= 2.49T_{aer}-0.047T_{aer}^2$
	SD	4.865	5.277
Regresie simplă $E=f(T_{sol})$	R^2	879	0.908
	Eq.	$E= 2.81T_{sol}-0.09T_{sol}^2$	$E= 2.99T_{sol}-0.06T_{sol}^2$
	SD	3.640	3.259
Regresie simplă $E=f(P^*)$	R^2	0.872	0.850
	Eq.	$E= 2.81T_{sol}-0.09T_{sol}^2$	$E= 2.48T_{sol}-0.004T_{sol}^2$
	SD	0.004	0.005
Regresie simplă $E=f(M_{sol})$	R^2	0.823	0.955
	Eq.	$E= -0.41M_{sol}+0.014M_{sol}^2$	$E= 4.35M_{sol}-0.08M_{sol}^2$
	SD	4.371	4.699
Regresie multiplă $E=f(T_{aer},T_{sol})$	R^2	0.908	0.842
	Eq.	$E= 0.77T_{aer}-0.188T_{sol}$	$E= 0.880T_{aer}-0.219T_{sol}$
	SD	1.582	2.457
Regresie multiplă $E=f(T_{aer},T_{sol},P^*)$	R^2	0.910	0.847
	Eq.	$E= 1.05T_{aer}-0.62T_{sol}+1.81P^*$	$E= 0.855T_{aer}-0.137T_{sol}-1.07P^*$
	SD	1.423	2.352
Regresie multiplă $E=f(T_{aer},T_{sol},P^*,M_{sol})$	R^2	0.916	0.941
	Eq.	$E= 3.75T_{aer}+0.21T_{sol}+0.032P^*+0.003M_{sol}$	$E= 1.51T_{aer}-1.9T_{sol}+12.8P^*+0.34M_{sol}$
	SD	1.354	0.865
$P^*=P/1000$			

4.8. Analiza dependenței emisiilor de CO_2 de principalii parametrii

4.8.1.1. Analiza dependenței emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă de principalii parametrii

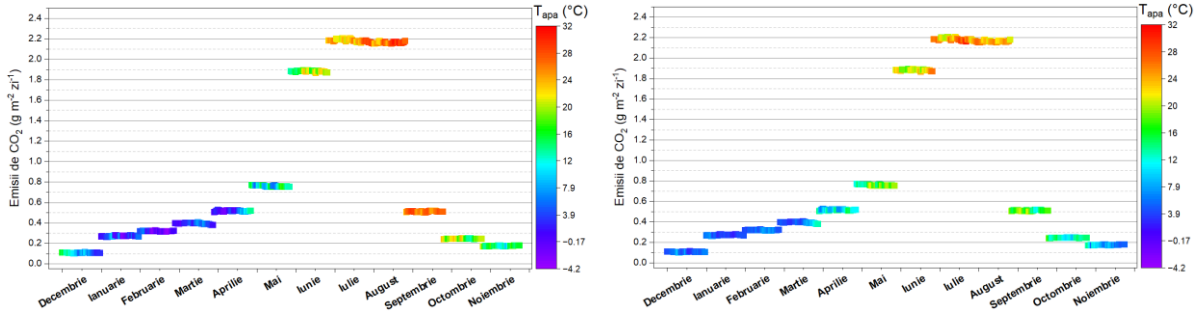
Următoarele grafice din Figura 4.17 prezintă valorile medii zilnice ale emisiilor de CO_2 în raport cu variabilele de T_{aer} si $T_{apă}$ pentru Zona A [21]. Variația emisiilor de CO_2 urmează tendințe similare cu cele ale temperaturilor. Pe măsură ce valorile temperaturilor cresc, emisiile de CO_2 cresc și ele, atingând valori de până la 3.16 g m^{-2} zi^{-1} la valori ale T_{aer} si $T_{apă}$ de 23°C în luna Mai. Intre Iunie și August, la valorile temperaturilor ce depasesc 30°C, s-au observat emisii de CO_2 mai mari pana la 9.33 g m^{-2} zi^{-1}, ceea ce demonstrează că acestă perioada este cea mai intensă pentru emisiile de CO_2 de la interfața apă-atmosferă, influențate puternic de valorile T_{aer} si $T_{apă}$. Corelațiile coeficientului Pearson între a emisiile de CO_2 si temperaturi s-a dovedit a fi puternic pozitivă și semnificativă statistic [59] cu r=0.813; p<0.01 pentru T_{aer} si r=0.764; p<0.01 pentru $T_{apă}$.



a) b)

Fig. 4.17. Variația emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă și temperatura medie zilnică a aerului (T_{aer}) și solului ($T_{apă}$) în Zona A

Graficele din Figura 4.18 arată variația emisiilor de CO_2 în funcție de T_{aer} si $T_{apă}$ pentru Zona B [210]. Se observă că emisiile de CO_2 cresc odată cu temperaturile, iar maximele sunt înregistrate în timpul verii. În intervalul Iunie-August, emisiile de CO_2 ating valorile cele mai mari în condiții de T_{aer} si $T_{apă}$ cu valori cuprinse între 21.3°C și 32°C, înregistrand un maxim al emisiilor de 2.832 g m^{-2} zi^{-1}. Corelațiile coeficientului Pearson între a emisiile de CO_2 si temperaturi s-a dovedit a fi puternic pozitivă și semnificativă statistic [59] cu r=0.857; p<0.01 pentru T_{aer} si r=0.742; p<0.01 pentru $T_{apă}$.

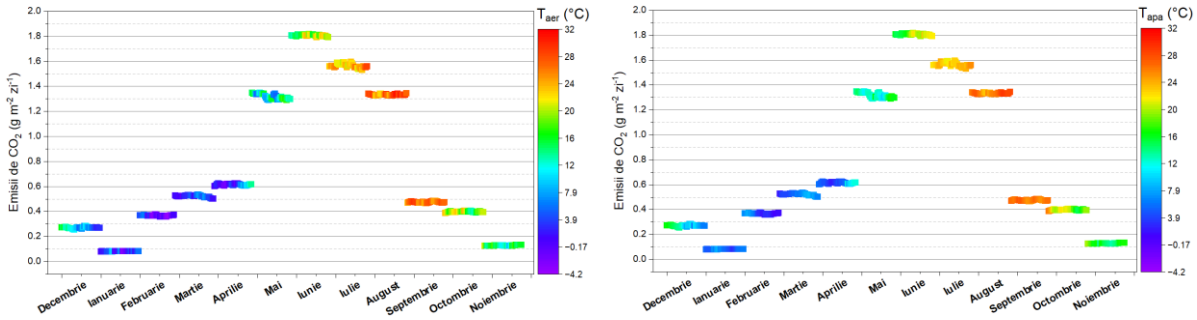


a) b)

Fig. 4.18. Variația emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă și temperatura medie zilnică a aerului (T_{aer}) și solului ($T_{apă}$) în Zona B

Emisiile de CO_2 în funcție de T_{aer} si $T_{apă}$, pentru Zona C, prezentate in Figura 3.19 reflectă o dependență a acestora [59]. În lunile de iarnă, când valorile sunt cele mai scazute, emisiile de

CO_2 rămân la un nivel minim al zonei. Odată cu creșterea temperaturilor, în intervalul Iunie-August, când T_{aer} si $T_{apă}$ ating valori maxime de peste 32°C, și emisiile de CO_2 sunt cele mai ridicate, prezentand valori de până la 1.89 g m^{-2} zi^{-1}. Corelațiile coeficientului Pearson între a emisiile de CO_2 si temperaturi s-a dovedit a fi puternic pozitivă și semnificativă statistic [59] cu r=0.845; p<0.01 pentru T_{aer} si r=0.894; p<0.01 pentru $T_{apă}$.



a) b)

Fig. 4.19. Variația emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă și temperatura medie zilnică a aerului (T_{aer}) și solului ($T_{apă}$) în Zona C

In Tabelul 4.17. sunt centralizate rezultatele coeficientul de regresie între emisiile de CO_2 de la interfața apă-atmosferă și parametrii meteorologici si fizici dependenti in cele trei zone analizate.

Tabel 4.17. Modele statistico-matematice privind relația dintre emisiile de CO_2 de la interfața apă-atmosferă și principalii parametrii meteorologici si fizici dependenti

Zona	Variabila	R^2	Ecuația de regresie	SD
A	$E=f(T_{aer})$	0.792	$E=0.211T_{aer}$	0.044
	$E=f(T_{apă})$	0.696	$E=0.2.12T_{apa}$	0.049
	$E=f(Pp)$	0.263	*neconcludent*	0.332
	$E=f(VV)$	0.504	*neconcludent*	0.008
	$E=f(T_{aer}, T_{apă})$	0.794	$E=0.247T_{aer}-0.039T_{apă}$	0.118
	$E=f(T_{aer}, T_{apa}, Pp)$	0.802	$E=0.229T_{aer}-0.014T_{apa}-0.085Pp$	0.359
	$E=f(T_{aer}, T_{apă}, Pp, VV)$	0.820	$E=0.277T_{aer}-0.138T_{apa}-0.136\ Pp+0.651VV$	1.369
B	$E=f(T_{aer})$	0.866	$E=0.063T_{aer}$	0.008
	$E=f(T_{apă})$	0.768	$E=0.062T_{apă}$	0.010
	$E=f(Pp)$	0.048	*neconcludent*	0.132
	$E=f(VV)$	0.439	*neconcludent*	0.334
	$E=f(T_{aer}, T_{apă})$	0.874	$E=0.085T_{aer}-0.025T_{apa}$	0.085
	$E=f(T_{aer}, T_{apă}, Pp)$	0.903	$E=0.093T_{aer}-0.028T_{apă}-0.070Pp$	0.331
	$E=f(T_{aer}, T_{apă}, Pp, VV)$	0.920	$E=0.116T_{aer}-0.067T_{apa}-0.104Pp+0.155VV$	0.155
C	$E=f(T_{aer})$	0.891	$E=0.055T_{aer}$	0.055
	$E=f(T_{apă})$	0.907	$E=0.052T_{apă}$	0.052
	$E=f(Pp)$	0.189	*neconcludent*	0.073
	$E=f(VV)$	0.460	*neconcludent*	0.300
	$E=f(T_{aer}, T_{apă})$	0.909	$E=0.015T_{aer}-0.039T_{apă}$	0.020
	$E=f(T_{aer}, T_{apă}, Pp)$	0.916	$E=0.019T_{aer}+0.036T_{apă}-0.020Pp$	0.209
	$E=f(T_{aer}, T_{apă}, Pp, VV)$	0.943	$E=-0.02T_{aer}+0.088T_{apă}+0.008Pp-0.175VV$	1.621

Pentru o explicație mai precisă a emisiilor de la interfața apă-atmosferă au fost implicate valorile parametrilor de calitate a apei din fiecare zonă de studiu. Astfel, corelarea coeficientului Pearson, precum și regresiile simple, au fost utilizate pentru analiza statistică pentru fiecare zonă. Emisiile de CO_2 la nivel de zonă prezintă corelații semnificative cu mai mulți parametri

de calitate a apei măsurați in-situ [60]. În Zona A, cele mai puternice corelații apar între emisiile de CO_2 și clorofilă (r=0.903), ORP (r=0.854) și corelație negativă, dar puternic semnificativă cu pH cu r=-0.885; p<0.01. Zonele B și C prezintă tendințele similare cu corelații semnificative și valori mari ale coeficientului de determinare (R^2 între 0.722 și 0.815). De asemenea, DO arată o corelație pozitivă moderată în toate zonele.

Modele statistico-matematice privind corelația dintre mediile lunare ale emisiilor de CO_2 si ale parametrilor de caliate ai apei sunt prezentate în Tabelul 4.18 și arată o corelație foarte puternică în toate cele trei zone.

Pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă din zonele umede periurbane se recomandă utilizarea ecuației de regresie (4.2.) care ia în considerare atât distribuția spațială a vegetației, cât și principalii parametrii de calitate ai apei.

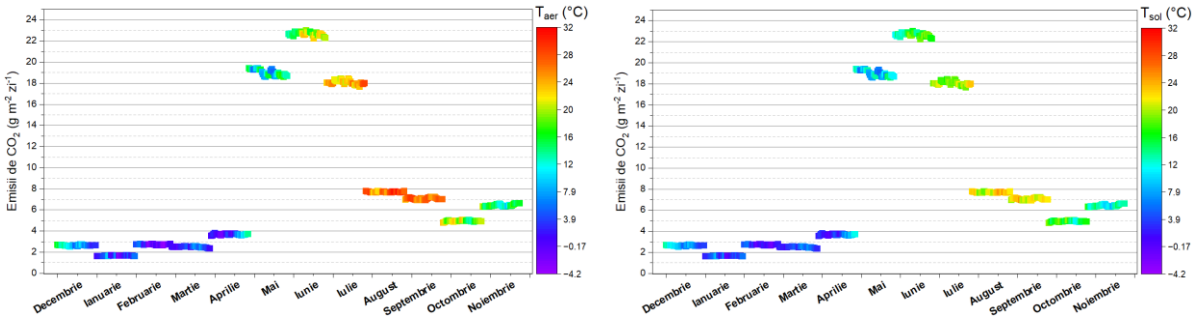
$$E = 0.036pH + 0.016ORP + 1.141C^* - 0.058DO + 0.118T_{apă} \quad (4.2)$$

Tabel 4.18. Modele statistico-matematice multiple privind relația dintre emisiile de CO_2 de la interfața apă-atmosferă și principalii parametri de calitate ai apei

Zona	Model		
A	*E=f(pH, ORP)*	R^2	0.923
		Eq.	$E = 0.087pH + 0.019ORP$
		SD	1.68
	E=f(pH, ORP, C)*	R^2	0.95
		Eq.	$E = -0.93pH + 0.008ORP + 1.141C^*$
		SD	1.213
	E=f(pH, ORP, C, DO)*	R^2	0.957
		Eq.	$E = 0.077pH + 0.014ORP + 1.402C^* - 0.041DO$
		SD	1.5
B	*E=f(pH, ORP)*	R^2	0.952
		Eq.	$E = 0.014pH + 0.008ORP$
		SD	2.061
	E=f(pH, ORP, C)*	R^2	0.958
		Eq.	$E = -0.57pH + 0.006ORP + 0.244C^*$
		SD	1.823
	E=f(pH, ORP, C, DO)*	R^2	0.959
		Eq.	$E = -0.45pH + 0.006ORP + 0.134C^* - 0.004DO$
		SD	1.483
C	*E=f(pH, ORP)*	R^2	0.865
		Eq.	$E = 0.070pH + 0.003ORP$
		SD	1.38
	E=f(pH, ORP, C)*	R^2	0.964
		Eq.	$E = -0.039pH + 0.001ORP + 0.245C^*$
		SD	2.094
	E=f(pH, ORP, C, DO)*	R^2	0.966
		Eq.	$E = -0.048pH + 0.001ORP + 0.196C^* - 0.004DO$
		SD	1.911

4.8.2. Analiza dependenței emisiilor de CO_2 din sol de principalii parametri

Relația dintre T_{aer}, T_{sol} și emisiile de CO_2 din Locația SC prezentate în Figura 4.20, arată o dependență între aceste variabile. Iarna, la temperaturi apropiate de zero, emisiile de CO_2 sunt minime (1.66 g m^{-2} zi^{-1}) din cauza inhibării activității microbiene. Odată cu creșterea T_{aer} și T_{sol} peste 10–15 °C, emisiile cresc semnificativ, atingând 18.98 g m^{-2} zi^{-1} la peste 19 °C. Vara, la T_{aer}>30 °C, acestea ajung la un maxim de 22.58 g m^{-2} zi^{-1} și se mențin constante. Ulterior, odată cu scăderea temperaturilor, emisiile se reduc treptat, dar rămân mai ridicate decât iarna. Corelațiile coeficientului Pearson între emisiile de CO_2 de la interfața sol-atmosferă și T_{aer}, T_{sol} din Locatia SC s-a dovedit a fi puternic pozitivă și semnificativă statistic.



a) b)

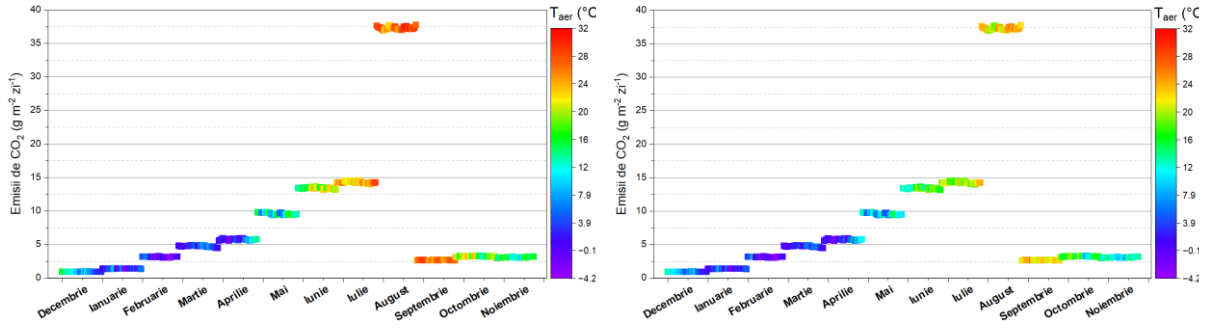
Fig. 4.20. Variația mediei lunare a emisiilor de CO_2 măsurate și media zilnică a T_{aer} (a) și T_{sol} (b) pentru Locația SC

Pentru a sublinia relația de dependență dintre emisiile de CO_2 și principalii factori de climă în Locația SC, s-au elaborat modele statistico-matematice care să fie general valabile pe Locația SC din zona umedă investigată. În Tabelul 4.19 sunt prezentate corelațiile statistico-matematice între emisiile de CO_2 și parametrii meteorologici dependenți.

Tabel 4.19. Modele statistico-matematice privind relația dintre emisiile de CO_2 și principalii parametri fizici în Locația SC

Variabila	R^2	Ecuația de regresie	SD
$E=f(T_{aer})$	0.823	$E=0.608T_{aer}$	0.085
$E=f(T_{sol})$	0.803	$E=0.686T_{sol}$	0.102
$E=f(M_{sol})$	0.687	$E=0.223M_{sol}$	0.045
$E=f(Pp)$	0.763	$E=0.958Pp$	0.152
$E=f(VV)$	0.391	neconcludent	1.004
$E=f(T_{aer}, T_{sol})$	0.824	$E=0.771T_{aer}-0.188T_{sol}$	0.824
$E=f(T_{aer}, T_{sol}, M_{sol})$	0.824	$E=0.799T_{aer}-0.247T_{sol}+0.010M_{sol}$	0.687
$E=f(T_{aer}, T_{sol}, M_{sol}, Pp)$	0.876	$E=-0.51T_{aer}+1.33T_{sol}-0.186M_{sol}+0.725Pp$	0.763
$E=f(T_{aer}, T_{sol}, M_{sol}, Pp, VV^*)$	0.879	$E=-0.408T_{aer}+1.22T_{sol}-0.229M_{sol}+0.77Pp-0.572VV$	0.824

Variația emisiilor de CO_2 în funcție de T_{aer} pentru Locația SP reprezentată în Figura 4.21, evidențiază o relație pozitivă puternică. Iarna, emisiile sunt minime (0.92 g m^{-2} zi^{-1}). Între Martie și Mai, odată cu creșterea T_{aer} până la 23.58 °C, acestea cresc progresiv până la 9.58 g m^{-2} zi^{-1}. Vara (iunie–iulie), la T_{aer} de 32.02 °C, emisiile ating 14.25 g m^{-2} zi^{-1}, iar în August valorile maxime ale Locației SP (37.35 g m^{-2} zi^{-1}). Din septembrie, emisiile scad gradual, odată cu reducerea temperaturilor. Corelația Pearson între emisii și T_{aer} este puternic pozitivă și semnificativă statistic ($r=0.852$; $p<0.01$), iar între emisii și T_{sol} este $r=0.842$; $p<0.01$.



a) b)

Fig. 4.21. Variația mediei lunare a emisiilor de CO_2 măsurate și media zilnică a T_{aer} (a) și T_{sol} (b) pentru Locația SP

Variația emisiilor de CO_2 și a Pp (7zile) din Locația SP (Figura 4.22) evidențiază o influență a precipitațiilor asupra emisiilor de CO_2, dar și o variație sezonieră specifică, influențată de alți factori precum temperatura.

La începutul anului, precipitațiile sunt reduse (0.425–2.56 mm/zi) și corespund emisiilor minime de CO_2. Între mai și august, acestea cresc semnificativ, atingând maxime în august (17.63–18.72 mm/zi). Ulterior, emisiile scad în septembrie odată cu reducerea temperaturilor și a frecvenței Pp (7 zile). În noiembrie–decembrie, emisiile ating minimele anuale, în timp ce Pp (7 zile) se mențin moderate (≤5.32 mm/zi). Corelația Pearson între emisii și Pp (7 zile) este puternic pozitivă și semnificativă ($r=0.936$; $p<0.01$).

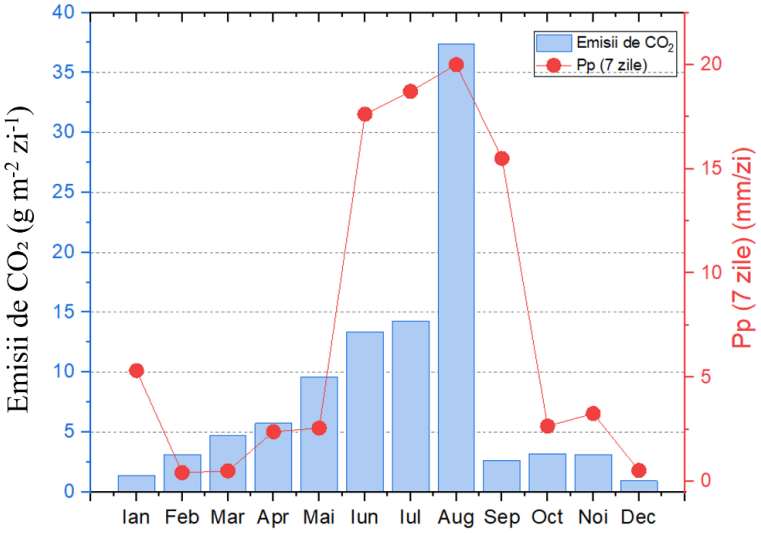


Fig. 4.22. Variația dintre emisiile de CO_2 și Pp (7zile) în Locația SP

Pentru a sublinia relația de dependență dintre emisiile de CO_2 și principalii factori de climă si fizici si solului în Locația SP, s-au elaborat modele statistico-matematice care să fie general valabile pe Locația SP din zona umedă investigată. În Tabelul 4.20 sunt prezentate corelațiile statistico-matematice între emisiile de CO_2 și parametrii meteorologici dependenți.

Tabel 4.20. Modele statistico-matematice privind relația dintre emisiile de CO_2 și principalii parametri fizici în Locația SP

Variabilă	R^2	Ecuația de regresie	SD.
T_{aer}	0.843	E=0.608T_{aer}	0.379
T_{sol}	0.820	E=0.686T_{sol}	0.594
M_{sol}	0.841	E=0.180M_{sol}	0.936
Pp (7 zile)	0.876	E=0.601Pp	0.601
VV	0.532	neconcludent	7.956
$E=f(T_{aer}, T_{sol})$	0.991	E=0.359T_{aer}+0.162T_{sol}	0.766
$E=f(T_{aer}, T_{sol}, M_{sol})$	0.992	E=0.360T_{aer}+0.184T_{sol}-0.014M_{sol}	1.404
$E=f(T_{aer}, T_{sol}, M_{sol}, Pp)$	0.997	E=0.435T_{aer}+0.258T_{sol}-0.027M_{sol}-0.166Pp	1.712
$E=f(T_{aer}, T_{sol}, M_{sol}, Pp, VV^*)$	0.998	E=0.394T_{aer}+0.329T_{sol}-0.008M_{sol}-0.205Pp-0.402VV	0.911

Pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă în funcție de principalii parametrii meteorologici și fizici dependenți se recomandă utilizarea ecuațiilor de regresie prezentate în Tabel 4.19 și Tabel 4.20. Pentru estimarea cu un nivel cât mai ridicat de încredere a emisiilor totale de CO_2 de la interfața sol-atmosferă aferente zonei umede periurbane, este necesar să se caracterizeze tipul de sol pe toată aria de interes.

4.9. Determinarea ratei de degradabilitate a vegetației de suprafață

În cadrul studiului s-a urmarit modul in care descompunerea vegetatiei de suprafata ar putea contribui la ciclul carbonului in zona de studiu. Pentru aceasta, am utilizat metoda săculeților de litieră, care a permis să măsurarea directă a ratei de degradabilitate în condițiile specifice zonei de studiu analizate [61].

4.9.1. Determinarea ratei de degradabilitate a speciei *Phragmites australis*

În Figura 4.23 sunt prezentate valorile masei litierei compusă din specia *Phragmites australis* după colecatrea acesteia din zona de studiu și fracția labilă a materialului. O fază inițială de descompunere rapidă a avut loc în primele 10 zile. Aceasta a fost urmată de o fază lungă de inhibare relativă a descompunerii între zilele 10-30. În cele din urmă, o a treia etapă a constat în pierderea semnificativă de masă ce a avut loc ca urmare a depunerilor masive pe săculeți a unui material organic și a microorganismlor nevertebrate.

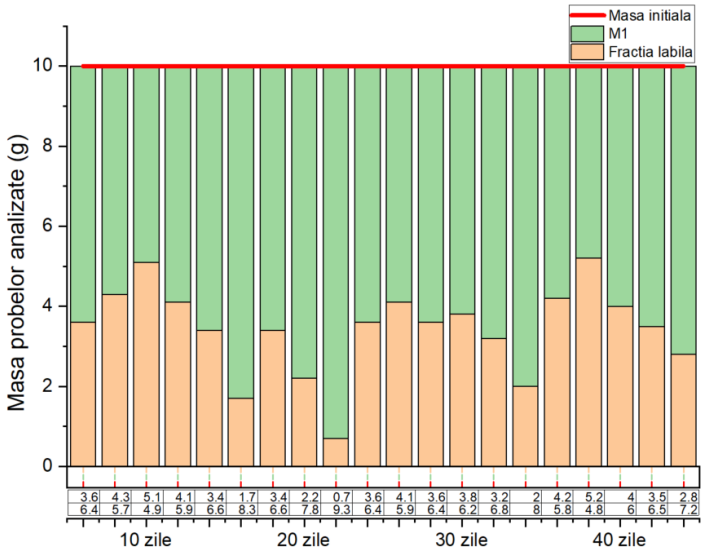


Fig. 4.23. Valorile fracției labile (C activ) și ale masei litierei colectată pentru specia *Phragmites australis*

În graficul din Figura 4.24 sunt reprezentate valorile fracției recalcitrante și a masei finale a litierei, după uscarea la etuvă. Astfel, fracția recalcitrantă a avut valori cuprinse între 1.2g și 0.7g în primele 20 de zile, iar în ultimele 20 de zile s-a stabilizat la valori cuprinse între 0.3g și 0.5g. Ultima etapă de stabilizare a fracției recalcitrante indică faptul că fractia inactivă de carbon din litieră poate fi afectată de aportul de material organic depus și face dificilă preconizarea impactului pe termen lung al acestui aport asupra stocurilor de C.

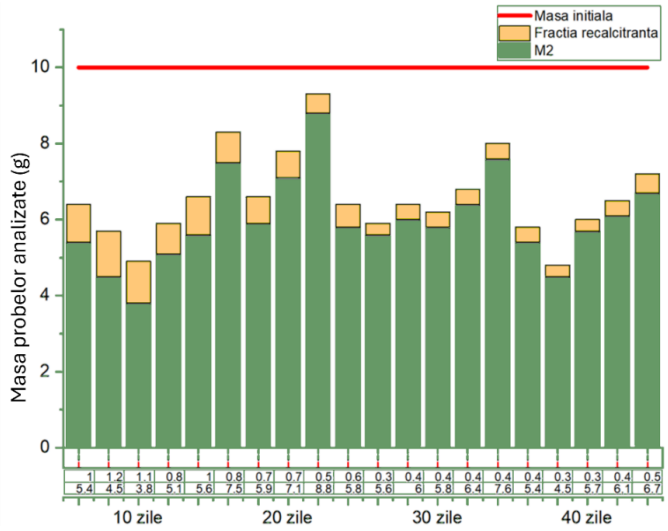


Fig. 4.24. Valorile fracției recalcitrante (C recalcitrant) și ale masei finale de litieră pentru specia *Phragmites australis*

Din graficul din Figura 4.25 reies proporțiile rezervoarelor active, cât și cele recalcitrante de C din litiera formată din specia *Phragmites australis*. Fracția labilă constituie cele mai mari proporții din carbonul organic total (TOC) al litierei. C recalcitrant, deși variază în prima fază, între zilele 10-20 având valori crescute față de întreaga serie de determinări, se stabilizează apoi la valori constante, reprezentând un procent mic din fracția totală.

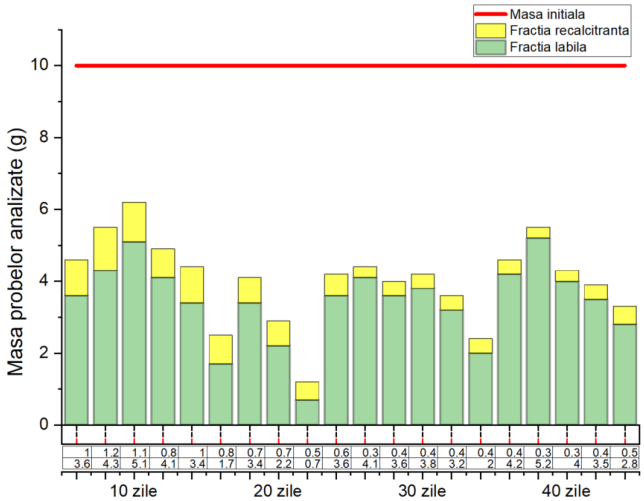


Fig. 4.25. Carbonul organic total din litiera formată de specia *Phragmites australis*

Cuantificarea fracției labile și a fracțiuei recalcitrante a estimat media pierderii totale de masă a cantității de litiera studiată, care este compusă din 3,425 g fracție activă și 0,61g fracție recalcitrantă.

4.9.2. Determinarea ratei de degradabilitate a speciei *Typha latifolia*

În Figura 4.26 sunt prezentate valorile masei litierei după colectarea acesteia din zona de studiu și fracția labilă a materialului. O fază inițială de descompunere lentă a fost în primele 10 zile, urmată de o fază lungă de descompunere rapidă ce a avut loc între zilele 20 și 30. În cele din urmă, o a treia etapă a constat în pierderea neuniformă de masă în cadrul seriei colectate, fracția labilă având valoare maximă de 4.7g până la 2g în cele 40 de zile.

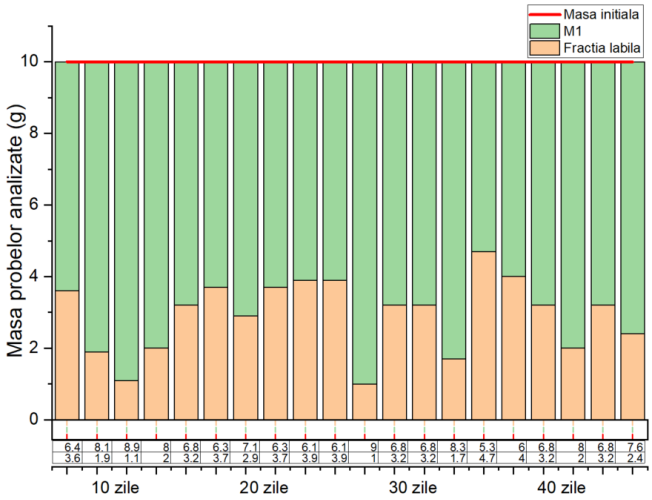


Fig. 4.26. Valorile fracției labile (C activ) și ale masei litierei colectată pentru specia *Typha latifolia*

Din graficul din Figura 4.27 reies proporțiile rezervoarelor active, cât și cele recalcitrante de C din litiera formată din specia *Typha latifolia*. Fracția labilă constituie cele mai mari proporții din TOC al litierei. C recalcitrant, deși variază în prima fază, între zilele 10-20 având valori crescute față de întreaga serie de determinări, se stabilizează apoi la valori constante, reprezentând un procent mic din fracția totală.

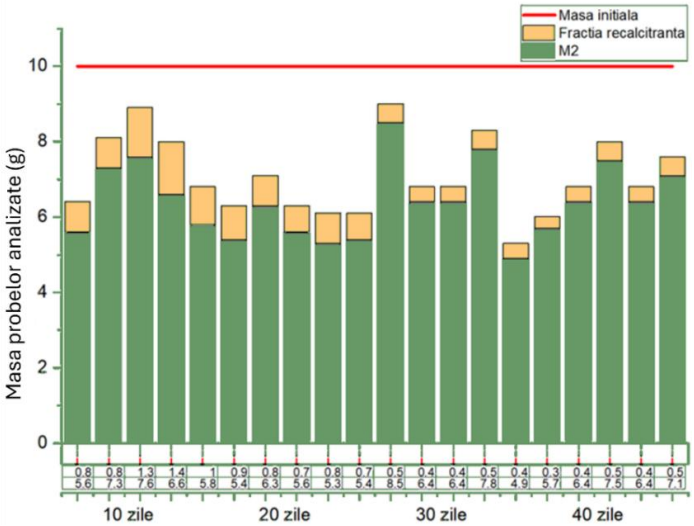


Fig. 4.27. Valorile fracției recalcitrante (C recalcitrant) și ale masei finale de litieră pentru specia *Typha latifolia*

Din graficul din Figura 4.28 reies proporțiile rezervoarelor active, cât și cele recalcitrante de C din litieră formată din *Phragmites australis*. Fracția labilă constituie cele mai mari proporții din TOC al litierei. C recalcitrant, deși variază în prima fază, între zilele 10-30 având valori crescute față de întreagă serie de determinări, se stabilizează la valori constante, reprezand un procent mic din fracția totală. În prima fază, C recalcitrant are valori cuprinse între 1.4g și 0.7g, iar în faza a doua a colectărilor, aceasta are valori mai scăzute, dar cu un trend liniar, cuprinse între 0.3g și 0.5g.

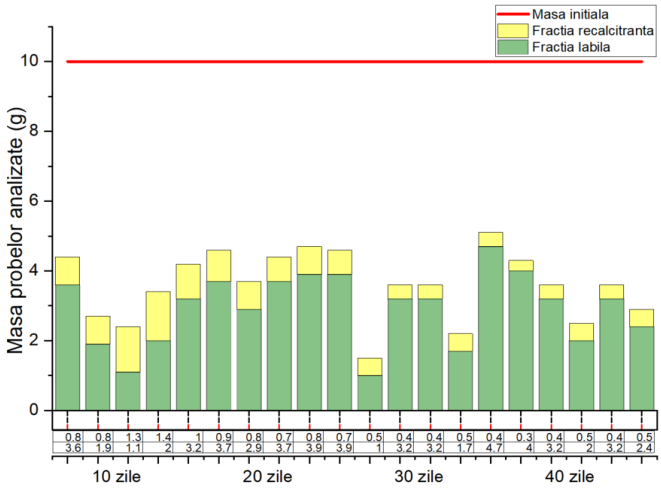


Fig. 4.28. Carbonul organic total din litiera formată de specia *Typha latifolia*

Cuantificarea fracției labile și a fracțiueii recalcitrante a estimat media pierderii totale de masă a cantității de litiera studiată, care este compusă din 2,925g fracție activă și 0,675g fracție recalcitrantă.

4.9.3. Estimarea continuțului de carbon din litiera solului

Orizontul de litieră este din punct de vedere al grosimii, destul de redus raportat la profilul solului, însă conține o cantitate foarte ridicată de OM. Determinarea C_{org} din orizontul de litieră s-a efectuat folosind factorul de estimare de 0,5 din masa organică uscată, propus în studiile anterioare [62].

Tabel 4.21. Conținutul de carbon din litieră pe componente

Componenta litierei	Conținutul de carbon pentru suprafețele de probă (kg/m^2)				
	L1	L2	L3	L4	L5
Frunze	13.9 (±1.28)	12.25 (±1.32)	17.65 (±1.04)	15.47 (±0.71)	13.51 (±0.86)
Lemn	2.31 (±0.13)	4.03 (±1.21)	1.61 (±2.06)	3.30 (±2.30)	2.45 (±1.54)
Total	16.21 (±5.11)	16.28 (±0.60)	19.26 (±0.93)	18.77 (±2.01)	15.96 (±0.69)

La nivelul zonei de studiu, litiera depusă pe solul malurilor râului Dâmbovița, în amonte de Lacul Morii, a avut un conținut mediu de 17.3 kg/m^2. Cantitatea de carbon din litiera frunzelor a prezentat proporții cuprinse între 75% și 92% din cantitatea totală de carbon din fiecare zonă de probă, în timp ce lemnul a reprezentat procente între 8% și 18% din cantitatea totală de carbon (Figura 4.29).

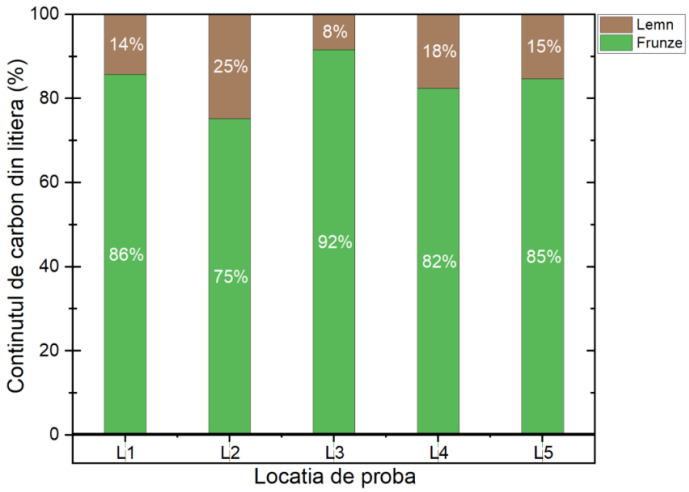


Fig. 4.29. Cantitatea procentuală a carbonului pe fiecare componentă a litierei pentru fiecare suprafaţă de probă

Cantitatea de carbon stocată în fiecare componentă a orizontului de litieră variază destul de mult între locațiile analizate, argumentând că aceste diferențe se datorează activităților biologice intense din sol, dar și condițiilor locale de distribuție a vegetației. Conținutul de carbon din litieră este corelat cu emisiile de CO_2 din sol și constituie un indicator direct al ritmului de mineralizare a MO. Emisiile de CO_2 de la interfața sol-atmosferă (inclusiv stratul de litieră) indică o descompunere accelerată și o reducere a carbonului stocat. Se recomandă extinderea investigațiilor pentru a determina corelația directă a ratei de degradabilitate a litierei și emisiile de CO_2 de la interfața sol atmosferă. Este important de menționat că, de degradarea acestor specii depinde transformarea CO în emisii de CO_2 în atmosferă.

4.10. Evaluarea și prognoza emisiilor de CO_2 folosind modelul DNDC

Pentru a completa analiza bazată pe măsurătorile directe, am utilizat software-ul DNDC pentru a simula posibilele evoluții ale emisiilor de CO_2 în contextul schimbărilor climatice. Această abordare a permis testarea scenariilor viitoare conform scenriilor RCP 8.5, oferind o perspectivă asupra modului în care schimbările climatice pot influența fluxurile de carbon. În acest fel, simulările vin în sprijinul măsurătorilor din teren, asigurând o imagine mai amplă asupra tendințelor de emisii din zonele umede periurbane.

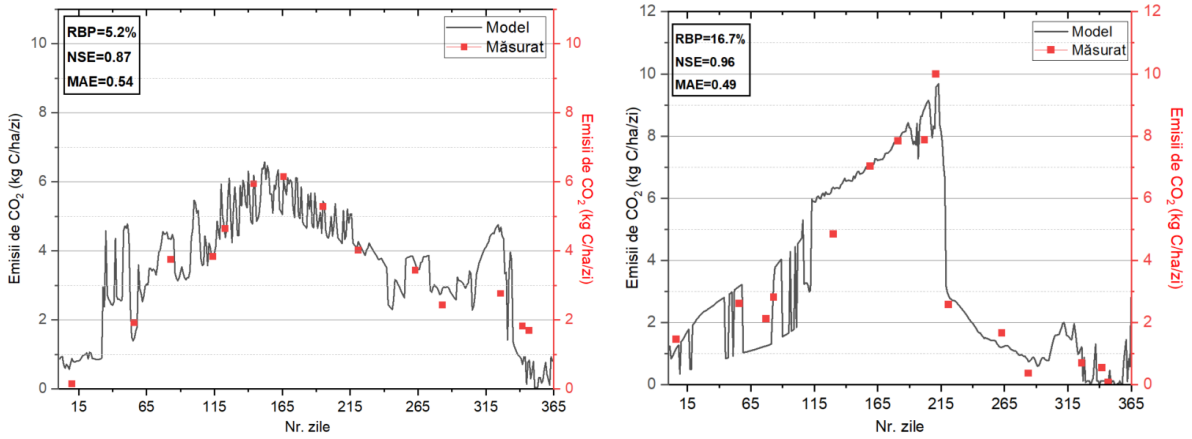
4.10.1. Validarea modelului DNDC cu date măsurate in-situ

Performanța modelului DNDC a fost evaluată pe baza măsurătorilor in-situ ale emisiilor de CO_2 și a indicatorilor de performanță: RBP (ponderea relativă în eroarea totală), coeficientul de eficiență NSE (Nash-Sutcliffe) și MAE (eroarea medie absolută). PBIAS (ponderea generală în eroarea modelului), indică dacă valorile simulate tind să fie mai mari sau mai mici decât datele măsurate [63].

$$RBP = \frac{\Sigma_{i=1}^{n}(sim_i - ms_i)}{\Sigma_{i=1}^{n} ms_i};\ NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(ms_i - sim_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(ms_i - \overline{ms})^2};\ MAE = \frac{\Sigma_{i=1}^{n}|sim_i - ms_i|}{n} \quad (4.1)$$

unde sim_i reprezintă valoarea de prognoză și ms_i reprezintă valoarea obținută prin măsurători in-situ.

Graficele din Figura 4.30 oferă o defalcare zilnică a fluxurilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă, simulate și măsurate pentru anul de bază 2022 în Locațiile SC (Figura 4.30 a)) și SP (Figura 4.30 b)).



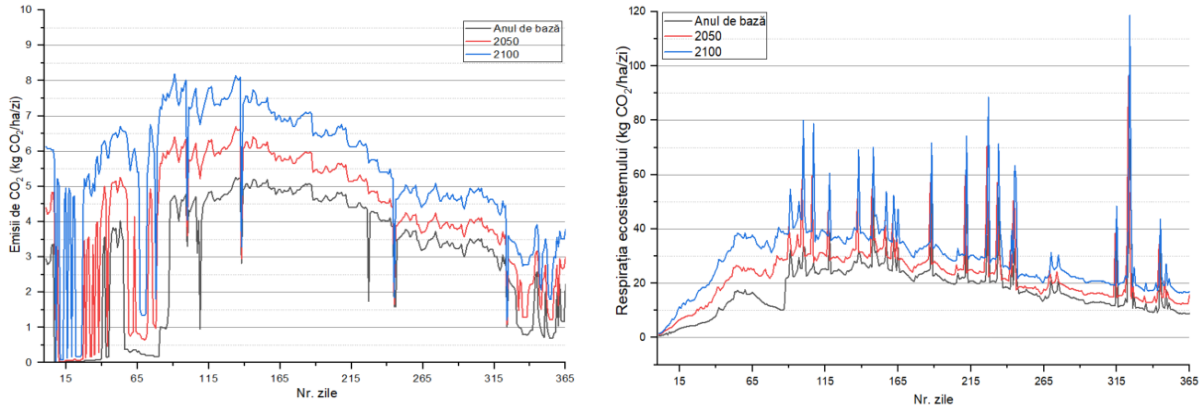
a) b)

Fig. 4.30. Variațiile interanuale ale emisiilor de CO_2 din sol măsurate in-situ și modelate pentru Locațiile SC (a) și SP (b) în anul de bază [31]

Modelele tinde să supraestimeze ușor emisiile de CO_2 în comparație cu valorile măsurate pe tot parcursul anului, cu toate acestea, corespund datelor măsurate in-situ. Indicatorii de performanță arată diferențe distincte în precizia și acuratețea lor predictivă. Locația SC are un RBP relativ mai mic (5,2%) comparativ cu Locația SP (16,7%), ceea ce indică predicțiile pentru Locația SC mai apropiate de valorile măsurate. Cu toate acestea, NSE mai mare pentru Locația SP (0,96) comparativ cu Locația SC (0,87) arată că modelul pentru Locația SP explică mai mult variabilitatea datelor. Ambele modele au valori MAE aproximativ similare, cu 0,54 pentru Locația SC și 0,49 pentru Locația SP, indicând faptul că amplitudinea medie a erorilor de predicție este destul de apropiată.

4.10.2. Scenarii de prognoză a emisiilor de CO_2 in contextul schimbarilor climatice

Conform scenariului RCP 8.5, emisiile de CO_2 din ambele locații sunt semnificativ mai mari în 2050 și 2100 în comparație cu valorile anului de bază. Conform Figurii 4.31 a), modelul pentru emisiile solului din Locația SC simulează o creștere de 16,79 % până în 2100. Emisiile pentru 2050 și 2100 urmează în general modelul de referință, dar cu unele diferențe notabile, unde maximele din 2100 sunt în general mai mari decât cele din anul de bază și cele din anul 2050.



a) b)

Fig. 4.31. Emisiile de la suprafața solului (a) și respirația ecosistemului (b) simulate conform scenariilor RCP 8.5 pentru Locația SC [31]

Tabelul 4.22 prezintă emisiile de gaze cu efect de seră în două scenarii diferite pentru Locația SC și Locația SP pentru anul de bază, precum și proiecțiile pentru anul 2050 și anul 2100. Se estimează că emisiile de CO_2 vor crește în ambele scenarii, pentru Locația SC a rezultat o creștere de la 5960,01 kg C/ha/an la momentul inițial la 7215,35 kg C/ha/an până în anul 2100, în timp ce pentru Locația SP a rezultat o creștere mai mare de la 7405 kgC/ha/an la momentul inițial la 8443,45 kg C/ha/an până în anul 2100.

Tabel 4.22. Rezultatele modelului pentru Locația SC și Locația SP și emisiile de GES pentru fiecare dintre cele două scenarii (2050 și 2100 conform proiecției RCP 8.5) [13]

Rezultatul modelului	U.M.	Emisii de GES					
		Locația SC			Locația SP		
Scenariu		Anul de bază	2050	2100	Anul de bază	2050	2100
Emisii CO_2	kgC/ha/an	5960.01	6960.91	7215.35	7405	8091	8443.45
Emisii CH_4	kgC/ha/an	-1.67	-1.86	-2.09	18.24	-0.42	-0.49
N_2O	kgN/ha/an	12.92	15.78	17.6	0.63	29.48	36.59
NO	kgN/ha/an	0.13	0.39	0.42	0.05	0.46	0.52
N_2	kgN/ha/an	0.41	0.9	0.99	0.12	2.68	3.2
NH_3	kgN/ha/an	22.1	36.54	38.33	53.15	59.92	66.12

* Perioada de referință

Rezultatele simulărilor indică un risc crescut de modificări semnificative ale emisiilor de GES până în 2100, cu variații notabile între tipurile de sol din zona umedă analizată, conform modelelor realizate.

Se recomandă calibrarea modelelor cu măsurători in-situ extinse pe o perioadă minimă de 3 ani, pentru a surprinde cât mai bine variațiile de climă și de mediu din locațiile de interes.

CAPITOL 5. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. PERSPECTIVE VIITOARE DE CERCETARE. DISEMINAREA REZULTATELOR.

5.1. Concluzii generale

Ecosistemele de zone umede sunt printre cele mai productive și influențează semnificativ concentrația de GES în atmosferă. Acestea au capacitatea de a sechestra și stoca C [64], în primul rând prin acumularea de OM în condiții anaerobe [65]. Cu toate acestea, zonele umede eliberează și cantități substanțiale de CO_2 în atmosferă prin diferite procese biogeochimice, contribuind la emisiile de GES și, implicit, la schimbările climatice [66]. Includerea lor în inventarele naționale de GES este esențială pentru alinierea la orientările Ghidului IPCC.

Această teză de doctorat abordează dinamica temporală și spațială a emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă în trei zone/locații (A, B și C) și sol-atmosferă în două locații (SC și SP), de-a lungul râului Dâmbovița, în amonte de Lacul Morii, situate în zona periurbană a Bucureștiului, România. Lacul Morii, finalizat în 1985–1986, a depășit perioada de emisii de 25 de ani indicată de Ghidurile IPCC, iar prin măsurători directe s-a verificat existența unor condiții de echilibru, rezultând emisii de CO_2 aproape de zero, ce nu au fost luate în considerare.

Au fost utilizate pentru măsurători in-situ două metode cu cameră închisă de determinare punctuală a emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă, metoda dinamică cu cameră închisă EGM-5 și metoda Kitului de Injecție cu cameră închisă statică. Ceretarile au vizat demonstrarea complementarității din punct de vedere al preciziei și utilizării simultane a celor două metode aplicate în acest studiu de caz, considerând precizia metodei EGM-5 ca fiind de referință pentru verificarea metodei Kitului de Injecție.

Rezultatele au arătat că metodele EGM-5 și Kitul de Injecție prezintă complementaritate în măsurarea emisiilor de CO_2 [48], fiecare având performanțe în condiții diferite. Analiza statistică a confirmat sensibilitatea ridicată a metodei EGM-5 pentru fluxurile mari și performanța metodei Kitului de Injecție pentru fluxuri constante. Astfel, se recomandă utilizarea metodei EGM-5 ca metodă principală, datorită sensibilității ridicate și a corelației demonstrate cu Kitul de Injecție, dar utilizarea simultană a celor două metode oferă rezultate cu o precizie și un grad ridicat de încredere asupra dinamicii emisiilor de CO_2.

Pentru o calibrare reciprocă și o validare statistică a rezultatelor, în cazul măsurătorilor punctiforme se recomandă utilizarea ecuațiilor de regresie prezentate în Tabel 4.6, iar în cazul în care se ține cont de formă și specificul zonei analizate se recomandă aplicarea ecuațiilor de regresie prezentate în Tabel. 4.7 pentru a îmbunătăți precizia interpretării valorilor.

Pornind de la valorile măsurate atât la interfața apă-atmosferă, cât și la interfața sol-atmosferă, emisiile medii lunare de CO_2 au fost ponderate prin introducerea unui coeficient bazat pe durata intervalelor orare de zi și noapte pentru fiecare lună, pentru a surprinde cât mai realist variațiile intra-anuale. Totuși, pentru o caracterizare mai amplă a variațiilor, este recomandat să se țină cont și de perioadele cu cer înnorat, cu precipitații sau cu radiație solară crescută, întrucât acestea pot influența emisiile de CO_2 [67].

De asemenea, pentru emisiile de CO_2 de la interfața apă-atmosferă, s-a ținut cont și de forma geometrică a zonei umede investigate și a fost introdus un coeficient (C_{ND}) care ține cont de raportul dintre suprafața vegetației și cea a apei, precum și de perimetrul fiecărei zone (A, B și C).

Dinamica temporală și spațială la nivel de zonă a emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă, a fost analizată, având în vedere interdependența metodelor, doar pe baza valorilor extrapolate la nivel de zone pentru metoda EGM-5 care are la bază principiul unei pompe de colectare a aerului, adecvată pentru măsurători dinamice. Totuși, în situațiile în care sunt disponibile doar măsurători realizate cu metoda Kitului de Injecție, se recomandă aplicarea relațiilor prezentate în Tabelul 4.13, întrucât modelele statistico-matematice incluse sunt mai generale și au un nivel de încredere ridicat, independent de factori precum temperatura, presiunea, variațiile zi–noapte sau de particularitățile geometrice ale zonei. Pentru estimarea generală emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă din zonele umede periurbane se recomandă utilizarea ecuației de regresie (4.1.) care ia în considerare atât variația zi-noapte, cât și forma geometrică totală și distribuția spațială a vegetației.

Astfel, toate cele trei zone au prezentat modele clare ale emisiilor de CO_2 în funcție de anotimp, cu cele mai ridicate niveluri observate vara și cele mai scăzute iarna. Zona A prezintă cea mai semnificativă creștere a emisiilor de CO_2 din vară, cu o variabilitate mai mare față de celelalte anotimpuri, perzentand o sensibilitate pronunțată la temperatură.

Variațiile temporale au arătat tendințe similare cu emisiile de CO_2 dintr-o zonă umedă localizată în sudul Finlandei, creată pentru colectarea apei [68], precum și din râurile și canalele din Delta Dunării [69], unde media lunară a emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă în apogeul sezonului de vegetație, din Iunie până în Septembrie, le-a depășit pe cele din restul lunilor.

Variațiile spațiale sunt, de asemenea, evidente între cele trei zone de studiu, cu precădere în anotimpul vara când emisiile de CO_2 din Zona A diferă semnificativ atât față de Zona B ($t=4.243$, $p=0.049$), cât și față de Zona C ($t=5.767$, $p=0.029$). Analiza ANOVA pentru toate cele trei zone a confirmat diferențele statistice semnificative între zone ($F=23.094$, $p=0.002$).

Din punct de vedere al dependenței emisiilor de CO_2 de principalii parametrii meteorologici și fizici, toate cele trei zone studiate au prezentat modele clare ale emisiilor de CO_2 în funcție de temperaturi (T_{aer} și $T_{apă}$). Rezultatele arată că la temperaturi ridicate de peste 25°C se intensifică activitatea biologică generând emisii mai mari de CO_2, în timp ce, la valori ale T_{aer} și T_{sol} minime, procesele sunt reduse și generează emisii de CO_2 scăzute. Analizele statistice consolidează aceste dependențe, corelațiile coeficientului Pearson fiind semnificate și pozitive, atât pentru T_{aer} ($r=0.813$; $p<0.01$ pentru Zona A, $r=0.857$; $p<0.01$ pentru Zona B și $r=0.845$; $p<0.01$ pentru Zona C), cât și pentru $T_{apă}$ ($r=0.764$; $p<0.01$ pentru Zona A, $r=0.742$; $p<0.01$ pentru Zona B și $r=0.894$; $p<0.01$ pentru Zona C).

Pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă în funcție de principalii parametrii meteorologici și fizici dependenți se recomandă utilizarea ecuațiilor de regresie prezentate în Tabel 4.15.

Pentru o explicație mai precisă a emisiilor de la interfața apă-atmosferă, acestea au fost analizate în relație cu valorile parametrilor de calitate a apei din fiecare zonă de studiu. Pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă în funcție de acești parametrii, se

recomandă utilizarea ecuațiilor de regresie multiple prezentate în Tabel 4.18. Pentru estimarea emisiilor de CO_2 la nivel general de zona de interes se recomanda utilizarea ecuatiei 4.2.

Cercetările privind analiza emisiilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă din Locațiile SC și SP au arătat că Locația SC are, în general, emisii mai ridicate și mai constante pe tot parcursul anului. Dinamica emisiilor la nivel de anotimp arată că iarna emisiile sunt cele mai scăzute, urmate de o creștere treptată primăvara, atingând maxime în timpul verii, apoi scăzând din nou toamna. Diferențele dintre cele două locații prezintă medii mai ridicate iarna și primăvara, dar cu o variabilitate diferită în Locația SC, în timp ce Locația SP are emisii mai scăzute și mai stabile. Vara, emisiile de CO_2 au fost considerabil mai ridicate în Locația SP comparativ cu Locația SC, din cauza evenimentului de inundare a solului, însă diferențele observate nu au fost confirmate de testul t și analiza ANOVA, care au indicat lipsa unei semnificații statistice.

Pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă în funcție de principalii parametri se recomandă utilizarea ecuațiilor de regresie prezentate în Tabel 4.16.

Din punct de vedere al dependenței emisiilor de CO_2 de principalii parametrii meteorologici și fizici, Locațiile SC și SP prezintă diferențe notabile. În Locația SC, emisiile de CO_2 cresc odată cu creșterea temperaturilor, atingând un maxim sezonier de 22.58 g m^{-2} zi^{-1} în lunile de vară, când T_{aer} depășește 30°C. Corelația coeficientului Pearson între temperaturi și emisiile de CO_2 este semnificativă, cu r=0.907; ($p<0.01$) pentru T_{aer} și r=0.890; ($p<0.01$) pentru T_{sol}. În Locația SP, emisiile de CO_2 cresc progresiv până în luna August, când ating un maxim de 37.35 g m^{-2} zi^{-1}, în condiții de T_{aer} de peste 32°C și T_{sol} de 26.9°C. Corelațiile coeficientului Pearson dintre emisiile de CO_2 și T_{aer} (r=0.852; $p<0.01$) și T_{sol} (r=0.842; $p<0.01$) sunt puternic pozitive și semnificative statistic. Pp (7 zile) joacă un rol major în amplificarea emisiilor de CO_2, cu un maxim în perioadele cu precipitații ridicate din lunile Mai și Iunie (17-18 mm/zi), iar corelația Pearson este foarte puternică (r=0.873; $p<0.01$ pentru Locația SC și r=0.936; $p<0.01$ pentru Locația SP), indicând importanța acestora în susținerea proceselor biologice, astfel că, între M_{sol} și emisiile de CO_2 rezultă o corelație a coeficientului Pearson pozitivă și semnificativă, cu r=0.829; ($p<0.01$) pentru Locația SC și r=0.871; ($p<0.01$) pentru Locația SP.

Având în vedere că începând din luna August solul din Locația SP devine inundat, corelațiile cu M_{sol} până la acel moment explică 84.1% din variațiile emisiilor. Valorile maxime ale emisiilor coincid cu perioada de inundație și se datorează schimbării bruște a regimului de umiditate și perturbării ecosistemului, care au accelerat emisiile de CO_2 din sol. Ulterior, în condiții de saturație continuă, suprapuse cu scăderea temperaturilor, valorile emisiilor au prezentat o tendință de scădere, indicând un potențial favorabil de captare a CO_2 în solurile inundate.

Pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă în funcție de principalii parametrii meteorologici și fizici dependenți se recomandă utilizarea ecuațiilor de regresie prezentate în Tabel 4.19 și Tabel 4.20. Ecuația generală pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă depinde de tipul de sol, ceea ce implică o aprofundare a unei analize de acest sens.

De asemenea, în cadrul studiului s-a urmărit modul în care descompunerea vegetației de suprafață, compusă din specia *Phragmites australis* și *Typha latifolia*, ar putea contribui la ciclul carbonului în zona de studiu. Pentru aceasta, am utilizat metoda săculeților de litieră, care a permis să măsurarea directă a ratei de degradabilitate în condițiile specifice zonei de studiu analizate.

Astfel, gradul de descompunere a litierei, în funcție de tipul de vegetație specific a urmat, în general, un model de degradare a calității materialului analizat, implicând o scădere rapidă în greutate, în faza inițială, urmată de o încetinire a ratei materialelor recalcitrante, atât pentru specia *Phragmites australis*, cât și pentru specia *Typha latifolia*. Analizând fracțiile medii labile și recalcitrante, s-a determinat pierderea totală de masă a litierei, fiind compusă din 8,56% fracție activă și 1,53% fracție recalcitrantă pentru specia *Phragmites australis* și 7,31% fracție labilă și 1,69% fracție recalcitrantă pentru specia *Typha latifolia*. Astfel, rezultatele arată că, deși procesul de descompunere a avut loc în aceleași condiții de mediu, specia *Phragmites australis* a prezentat o descompunere mai rapidă.

Stratul de litieră depus pe sol a produs o valoare medie de 17,3 kg/m^2 C. Cantitatea de carbon din litieră de frunze a reprezentat 75% până la 92% din totalul de carbon din fiecare probă, în timp ce cantitatea de carbon din lemn a reprezentat 8% până la 18% din TOC. La această cantitate de carbon din stratul de litieră al solului se adaugă un aport de biomasă vegetală de la suprafața solului sau din apă, în funcție de regimul hidrodinamic, de 14,9% din specia *Phragmites australis* și 16% din specia *Typha latifolia*. Este important de menționat că, de degradarea acestor specii depinde transformarea CO în emisii de CO_2 în atmosferă.

Pentru a completa analiza bazată pe măsurătorile directe, am utilizat software-ul DNDC pentru a simula posibilele evoluții ale emisiilor de CO_2 în contextul schimbărilor climatice. Modelele DNDC pentru Locația SC și SP au fost calibrate și validate cu măsurători în-situ, iar indicatorii de performanță (NSE, RBP și MAE) [70] au demonstrat consistență și corelație bună cu datele din teren, ceea ce le confirmă un grad ridicat de încredere pentru aplicabilitatea în scenarii viitoare pentru evaluarea emisiilor de CO_2.

Modelele realizate în DNDC conform scenariului RCP 8.5 pentru ambele locații indică creșteri substanțiale ale emisiilor de CO_2 până în 2100, comparativ cu anul de bază. Pentru Locația SC s-a simulată o creștere de 16,79% a emisiilor de CO_2 de la suprafața solului până în anul 2100, iar pentru Locația SP a fost simulată o creștere de 14,02%. Rezultatele simulărilor indică un risc crescut de modificări semnificative ale emisiilor de GES până în 2100, cu variații notabile între tipurile de sol din zona umedă analizată, conform modelelor realizate.

Se recomandă calibrarea modelelor cu măsurători in-situ extinse pe o perioadă minimă de 3 ani, pentru a surprinde cât mai bine variațiile de climă și de mediu din locațiile de interes.

5.2. Contribuții originale

1. Aceste cercetări asupra emisiilor de CO_2 din zonele umede contribuie la îmbunătățirea volumului informational necesar inventarelor nationale de GES, prin furnizarea de date cu un grad ridicat de incredere, conforme cerințelor IPCC, esențiale pentru raportările sectorului LULUCF.
2. Au fost testate și validate două metode complementare, metoda cu camera dinamică închisă (EGM-5) și metoda cu camera statică cu Kitului de Injecție, demonstrând că utilizarea lor concomitentă oferă o mai mare încredere în măsurători, mai ales în ecosistemele zonelor umede periurbane care nu au fost investigate pană in prezent.
3. Prin analize statistice, au fost evidențiate parametrii precum temperatura aerului și temperatura solului, M_{sol} și pH-ul ca reprezentand factorii principali care controlează emisiile de CO_2,

confirmând interdependența proceselor fizico-chimice și biologice din ecosistemele zonelor umede periurbane.

4. În locațiile studiate pentru emisiile de CO_2 de la interfața sol-atmosferă, regimul hidrologic (inundație) a avut o influență majoră asupra dinamicii emisiilor, demonstrând că inundarea bruscă accelerează procesele de descompunere anaerobă și, implicit, creșterea emisiilor de CO_2 din zonele umede periurbane.
5. Extrapolarea emisiilor de CO_2 pe baza măsurătorilor in-situ, incluzând variații diurne și nocturne, a fost folosita prima data in acest studiu si asigura o imagine mai detaliata a fluxului la nivel de anotimp
6. Dezvoltarea unui coeficient de estimare a emisiilor de CO_2 (C_{ND}), care explică variațiile în funcție de forma geometrica a zonei si de distributia spatiala a vegetatiei.
7. Extrapolarea emisiilor de CO_2 pe baza măsurătorilor in-situ, incluzând raportul dintre suprafata vegetatiei si suprafara apei si forma geometrica, a fost folosita prima data in acest studiu si asigura o imagine mai detaliata a fluxului la nivel zona.
8. Utilizarea modelelor statistico-matematice a permis dezvoltarea unor modele predictive pentru emisiile de CO_2 de la interfața sol-atmosferă, care explică variațiile emisiilor la nivel de zone, în funcție de parametrii meteorologici și fizico-chimici, fiind un instrument valoros pentru scenariile climatice viitoare folosite prima data in acest scop.
9. Dezvoltarea unui model general valabil pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă din zonele umede periurbane, care ia în considerare atât variația zi-noapte, cât și forma geometrică totală și distribuția spațială a vegetației.
10. Dezvoltarea unui model general valabil pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața apă-atmosferă din zonele umede periurbane, care ia în considerare atât variația zi-noapte, cât și forma geometrică totală și distribuția spațială a vegetației.
11. Validarea unor modele predictive realizate în software-ul DNDC, prin analiza performanței modelului și a incertitudinilor prin compararea cu date obținute prin măsurători directe
12. Dezvoltarea unui model general valabil pentru estimarea emisiilor de CO_2 de la interfața sol-atmosferă din zonele umede periurbane, care ia în considerare parametrii meteorologici și fizici ai solului
13. Crearea de modele bazate pe condițiile climatice viitoare, utilizând scenariile RCP8.5, a fost folosita pentru a evalua modul în care schimbările climatice pot influența emisiile din zonele umede urbane
14. Datele cu un grad ridicat de încredere și modelele dezvoltate și validate în cercetările prezentate sunt concepute de către autor și asigura o mai mare precizie la estimările emisiilor de CO_2.
15. Rezultatele si metodele dezvoltate in aceasta teza de doctorat care s-a axat pe evaluarea emisiilor de CO_2 in zone umede urbane, ofera un suport important pentru aplicearea unor NbS in orase , cu scopul adaptarii acestora la schimbarile climatice
16. Prezentarea unei metodologii replicabile la nivel național pentru monitorizarea zonelor umede periurbane
17. Anazliza solurilor din zonele umede în funcție de regimul hidric si determinarea diferențelor de emisii în funcție de gradul de inundare și caracteristicile hidrologice ale solului.

18. Aplicarea combinată a metodei EGM-5 și a Kitului de Injecție pentru monitorizarea in-situ a emisiilor de CO_2 în zone umede si o analiză comparativă detaliată a variațiilor la nivel de anotimp
19. Prin elaborarea brevetului cu titlu "Dispozitiv de determinare directă a fluxurilor de gaze (în specialcele cu efect de seră) în cameră submersă desecată din substraturile ecosistemelor acvatice *(mâl, nămol, sedimente etc.)* se asigură o contribuție semnificativă în estimarea emisiilor de CO_2 în zone umede ce contribuie semnificativ la rapoarte viitoare privind inventarele naționale de GES.
20. Prin elaborarea brevetului „Tehnologie bazată pe inteligență artificială pentru evaluarea performanței în agricultura ecologică și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră", se propune o tehnologie inovativa bazata pe AI care analizează simultan date de sol și climat, cu relevanță directă pentru reducerea emisiilor GES și managementul terenurilor în contextul schimbărilor climatice.

5.3. Perspective viitoare de cercetare

Aceasta teza de doctorat a avut ca scop evaluarea emisiilor de CO_2 din ecosistemele zonelor umede periurbane, dar o contabilizare cat mai elaborata a bilanțului GES necesită cuantificarea CH_4 și N_2O (protoxidului de azot), gaze cu potențial de încălzire mult mai ridicat.

De asemenea, extinderea perioadei de monitorizare a emisiilor de CO_2 reprezintă o direcție pentru cercetările viitoare, întrucât o serie de date extinsa pe cel putin 3 ani ar permite surprinderea variațiilor interanuale și ar oferi o imagine mai complexa asupra tendințelor emisiilor de CO_2.

Un alt aspect important pentru cercetările viitoare îl reprezintă analiza modului în care parametrii meteorologici, precum gradul de înnorare și nivelul radiației solare, influențează emisiile de CO_2.

Se recomandă extinderea investigațiilor pentru a determina corelația directă a ratei de degradabilitate a litierei și emisiile de CO_2 de la interfața sol atmosferă.

O direcție viitoare de cercetare constă în adaptarea și calibrarea modelului DNDC la condițiile pedoclimatice specifice regiunii. Acest aspect ar reduce incertitudinile predicțiilor privind fluxurile de GES, facilitând integrarea rezultatelor în evaluări la scară națională.

BIBLIOGRAFIE

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), SAR Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Cambridge University Press, 2024.

[2] N. Faivre, M. Fritz, T. Freitas, B. de Boissezon, S. Vandewoestijne, *Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges*, *Environmental Research*, vol. **159**, nov. 2017, pp. 509–518. doi: 10.1016/j.envres.2017.08.032.

[3] W. J. Mitsch, J. G. Gosselink, *Wetlands*, 5th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2015.

[4] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Elveția: IPCC, 2014.

[5] A. Zuazua Ruiz, J. M. Martín Martín, J. F. Prados-Castillo, *The European Union facing climate change: a window of opportunity for technological development and entrepreneurship*, *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, **vol. 2**, nr. 2, 2023, 100035. ISSN 2773-0328. doi: 10.1016/j.stae.2022.100035.

[6] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), *United Nations Framework Convention on Climate Change*, New York, 1992.

[7] M. Grubb, *Kyoto and the Future of International Climate Change Responses: From Here to Where*, *International Review for Environmental Strategies*, **vol. 5**, 2004, pp. 15–38.

[8] M. Voicu, V. Coman, N. Enache, L. Laslo, M. Matei, A. Rotaru, N. Bara, M. Boboc, S. Stanciu, G. Deak, *Experimental Determination of Carbon Dioxide Flux in Soil and Correlation with Dependent Parameters, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. **616,** 012010, 2020. doi: 10.1088/1755-1315/616/1/012010.

[9] H. Böttcher, J. Reise, *The Climate Impact of Forest and Land Management in the EU and the Role of Current Reporting and Accounting Rules*, Öko Institut, Berlin, Germania, 2020.

[10] R. Petrescu, G. Peters, G. Janssens-Maenhout, P. Ciais, F. Tubiello, G. Grassi, G. Nabuurs, A. Leip, G. Carmona Garcia, W. Winiwarter, L. Höglund-Isaksson, D. Gunther, E. Solazzo, A. Kiesow, A. Bastos, J. Pongratz, J. Nabel, G. Conchedda, R. Pilli, R. Andrew, M. Schelhaas, A. Dolman, *European anthropogenic AFOLU greenhouse gas emissions: a review and benchmark data*, *Earth System Science Data*, vol. 12, nr. 2, 2020, pp. 961–1001. JRC118629. doi: 10.5194/essd-12-961-2020.

[11] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, E. Calvo Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, J. Baasansuren, M. Fukuda, S. Ngarize, R. Osako, Y. Pyrozhenko, P. Shermanau, S. Federici (eds.), Geneva, Elveția: IPCC, 2019.

[12] Parlamentul European și Consiliul Uniunii Europene, *Regulamentul (UE) 2018/841 al Parlamentului European și al Consiliului din 30 mai 2018 privind includerea emisiilor și absorbțiilor de gaze cu efect de seră rezultate din utilizarea terenurilor, schimbarea utilizării terenurilor și silvicultură în cadrul de acțiune privind clima și energia pentru 2030 și de modificare a Regulamentului (UE) nr. 525/2013 și a Deciziei nr. 529/2013/UE*, *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene*, L156, 2018.

[13] N. Enache, G. Deák, L. Laslo, M. Matei, E. Holban, M. Boboc, A. Harabagiu, *Modelling the impact of soil and meteorological parameters on carbon dynamics in wetland ecosystems*, *International*

Journal of Conservation Science, **vol. 15**, nr. 3, 2024, pp. 1523–1532. doi: 10.36868/IJCS.2024.03.23.

[14] B. Arora, N. F. Spycher, C. I. Steefel, S. Molins, M. Bill, M. E. Conrad, W. Dong, B. Faybishenko, T. K. Tokunaga, J. Wan, K. H. Williams, S. B. Yabusaki, *Influence of hydrological, biogeochemical and temperature transients on subsurface carbon fluxes in a flood plain environment*, *Biogeochemistry*, **vol. 127**, 2016, pp. 367–396. doi: 10.1007/s10533-016-0186-8.

[15] K. W. Krauss, J. L. Whitbeck, R. J. Howard, *On the relative roles of hydrology, salinity, temperature, and root productivity in controlling soil respiration from coastal swamps (freshwater)*, *Plant and Soil*, **vol. 358**, 2012, pp. 265–274. doi: 10.1007/s11104-012-1182-y.

[16] K. Guan, S. Thompson, C. Harman, N. Basu, P. S. C. Rao, M. Sivapalan, A. I. Packman, P. Kalita, *Spatiotemporal Scaling of Hydrological and Agrochemical Export Dynamics in a Tile-Drained Midwestern Watershed*, *Water Resources Research*, **vol. 47**, 2011. doi: 10.1029/2010WR009997.

[17] J. Hassink, *Effects of soil texture and structure on carbon and nitrogen mineralization in grassland soils, Biology and Fertility of Soils*, **vol. 14**, 1992, pp. 126–134. doi: 10.1007/BF00336262.

[18] K. R. Reddy, R. D. DeLaune, *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*, 1st ed., Boca Raton: CRC Press, 2008. doi: 10.1201/9780203491454.

[19] L. Olsson, S. Ye, X. Yu, M. Wei, K. W. Krauss, H. Brix, *Factors influencing CO_2 and CH_4 emissions from coastal wetlands in the Liaohe Delta, Northeast China*, *Biogeosciences*, **vol. 12**, 2015, pp. 4965–4977. doi: 10.5194/bg-12-4965-2015.

[20] K. Tockner, J. A. Stanford, *Riverine Flood Plains: Present State and Future Trends*, *Environmental Conservation*, **vol. 29**, nr. 3, 2002, pp. 308–330. doi: 10.1017/S037689290200022X.

[21] Gy. Deák, N. Enache, L. Laslo, M. Matei, M. G. Boboc, C. I. Covaliu Mierla, *Water CO_2 Emission Monitoring in a Romanian Peri-Urban Wetland to Enhance GHG Reporting*, *Atmosphere*, **vol. 15**, nr. 11, 2024, p. 1345. doi: 10.3390/atmos15111345.

[22] E. A. Davidson, I. A. Janssens, *Temperature Sensitivity of Soil Carbon Decomposition and Feedback to Climate Change*, *Nature*, **vol. 440**, 2006, pp. 165–173. doi: 10.1038/nature04514.

[23] L. Laslo, N. Enache, M. Matei, M. Boboc, A. Radu, N. Ramli, *Experiments on Soil Microcosms for the Assessment of Greenhouse Gases Fluxes from Different Land Uses in Laboratory Conditions*, *E3S Web of Conferences*, **vol. 589**, 2024, p. 01005. doi: 10.1051/e3sconf/202458901005.

[24] S. Kakran, J. S. Rathore, A. Sidhu, A. Kumar, *Solar energy advances and CO_2 emissions: A comparative review of leading nations' path to sustainable future*, *Journal of Cleaner Production*, **vol. 475**, 2024, p. 143598. doi: 10.1016/j.jclepro.2024.143598.

[25] O. K. Atkin, M. G. Tjoelker, *Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature*, *Trends in Plant Science*, **vol. 8**, nr. 7, 2003, pp. 343–351. doi: 10.1016/S1360-1385(03)00136-5.

[26] M. E. Dusenge, A. G. Duarte, D. A. Way, *Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO_2 and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration*, *New Phytologist*, **vol. 221**, nr. 1, 2019, pp. 32–49. doi: 10.1111/nph.15283.

[27] Z. Yang, K. Chen, F. Liu, Z. Che, *Effects of Rainfall on the Characteristics of Soil Greenhouse Gas Emissions in the Wetland of Qinghai Lake*, *Atmosphere*, **vol. 13**, nr. 1, 2022, art. 129. doi: 10.3390/atmos13010129.

[28] J. Tang, D. D. Baldocchi, Y. Qi, L. Xu, *Assessing soil CO_2 efflux using continuous measurements of CO_2 profiles in soils with small solid-state sensors*, *Agricultural and Forest Meteorology*, **vol. 118**, nr. 3–4, 2003, pp. 207–220.

[29] S. M. Green, R. Machin, M. S. Cresser, *Long-term impacts of atmospheric deposition on peatland soils and vegetation: A synthesis*, *Ecology Letters*, **vol. 14**, nr. 10, 2011, pp. 1104–1116.

[30] W. Zhang, M. Wang, X. Zhu, *Plant-mediated influences of wind on soil CO_2 flux in wetland ecosystems*, *Ecological Applications*, **vol. 27**, nr. 4, 2017, pp. 1251–1260.

[31] L. Laslo, N. Enache, A. Rotaru, N. Bara, Gy. Deák, M. Matei, M. Boboc, *Improving the efficiency to measure the aquatic and terrestrial exchange of greenhouse gases by using static chambers and injection methods*, *RA Journal of Applied Research*, 2021.

[32] Y. Luo, S. Wan, D. Hui, L. L. Wallace, *Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie*, *Nature*, **vol. 413**, nr. 6856, 2001, pp. 622–625. https://doi.org/10.1038/35098065

[33] G. J. Whiting, J. P. Chanton, *Greenhouse carbon balance of wetlands: Methane emission versus carbon sequestration*, *Biogeochemistry*, **vol. 15**, nr. 2, 2001, pp. 135–161. https://doi.org/10.1007/BF00002932

[34] R. J. Diaz, R. Rosenberg, *Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems*, *Science*, **vol. 321**, nr. 5891, 2008, pp. 926–929. https://doi.org/10.1126/science.1154122

[35] R. G. Wetzel, *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.), Academic Press, 2001. https://doi.org/10.1002/9780470999271

[36] R. Conrad, *The global methane cycle: Recent advances in understanding the microbial processes involved*, *Environmental Microbiology Reports*, **vol. 1**, nr. 5, 2009, pp. 285–292. https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2009.00038.x

[37] R. G. Wetzel, *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.), Academic Press, 2001. https://doi.org/10.1002/9780470999271

[38] N. Fenner, C. Freeman, *Drought-induced C loss in peatlands*, *Nature Geoscience*, **vol. 4**, 2011, pp. 895–900. doi: 10.1038/ngeo1323.

[39] T. R. Moore, N. Basiliko, *Decomposition in boreal peatlands*, in *Soil Processes and Water Quality*, **vol. 1**, nr. 6, 2006, pp. 125–143. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3356-3_8

[40] P. M. Vitousek, R. Naylor, T. Crews, J. J. Dighton, *Nutrient imbalances in agricultural development*, *Science*, **vol. 324**, nr. 5934, 2010, pp. 1519–1520. https://doi.org/10.1126/science.117026

[41] A. Kuznetsova, A. E. Kazakova, E. I. Alekseeva, *Impact of eutrophication on carbon balance in wetlands*, *Wetlands Ecology and Management*, **vol. 18**, nr. 6, 2010, pp. 675–685. https://doi.org/10.1007/s11273-010-9192-2

[42] K. Anderson, K. J. Gaston, *Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology, Frontiers in Ecology and the Environment*, **vol. 11**, nr. 3, 2013, pp. 138–146. DOI: 10.1890/120150.

[43] Ecopolis. *Raport: Starea mediului în regiunea București-Ilfov*, 2022.

[44] Meteoblue. Meteoblue Weather Service. Disponibil online: www.meteoblue.com

[45] Climate Analytics. Disponibil online: www.climateanalytics.org

[46] PP Systems, *EGM-5 Portable CO_2 Gas Analyzer: User Manual*

[47] L. Laslo, M. Matei, M. Boboc, Gy. Deák, I. Cătuneanu, N. Enache, *Measurements and Statistical Analysis of CO_2 Efflux and Related Parameters from Crop and Forested Lands*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023.

[48] Gy. Deák, A. Rotaru, N. A. Enache, L. Laslo, M. Matei, M. Boboc, N. Bara, *Carbon Dioxide Sampling and Analysis Technologies for Aquatic and Terrestrial Ecosystems*, *ECS Transactions*, **vol. 107**, 2022, pp. 6525–6540. doi: 10.1149/10701.6525ecst.

[49] C. Draghici, I. Manciulea, *Calitatea mediului: Monitorizarea solului (Unitatea 3, Modulul 6.4)*, Brașov, România: Universitatea Transilvania din Brașov, 2015.

[50] E. Grüneberg, D. Ziche, N. Wellbrock, *Organic Carbon Stocks and Sequestration Rates of Forest Soils in Germany*, Global Change Biology, **20**(8), 2014, pp. 2644–2662. https://doi.org/10.1111/gcb.12558

[51] B. L. Vasilias, M. Rabenhorst, J. Fuhrmann, A. Chirnside, S. Inamdar, în: J. T. Anderson, C. A. Davis (eds.), *Wetland Techniques. Volume 1: Foundations*, New York, NY: Springer, 2013, pp. 355–442.

[52] G. S. Deghi, K. C. Ewel, W. J. Mitsch, *Effects of Sewage Effluent Application on Litter Fall and Litter Decomposition in Cypress Swamps*, Journal of Applied Ecology, **17**, 1980, pp. 397–408.

[53] S. M. Vargo, R. K. Neely, S. M. Kirkwood, *Emergent Plant Decomposition and Sedimentation: Response to Sediments Varying in Texture, Phosphorus Content and Frequency of Deposition*, Environmental and Experimental Botany, **40**, 1998, pp. 43–58.

[54] E. F. Benfield, în: F. R. Hauer, G. A. Lamberti (eds.), *Methods in Stream Ecology*, San Diego, CA: Academic Press, 1996, pp. 579–589.

[55] J. Morris, K. Lajtha, *Decomposition and Nutrient Dynamics of Litter from Four Species of Freshwater Emergent Macrophytes*, Hydrobiologia, **131**, 1986, pp. 215–223.

[56] IBM Corp., *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 29.0.* Armonk, NY: IBM Corp., 2021.

[57] OriginLab, *OriginPro 2023:* Data Analysis and Graphing Software. Northampton, MA: OriginLab Corporation, 2023.

[58] https://www.dndc.sr.unh.edu

[59] Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioural Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, USA, 1988.

[60] N. Enache, L. Laslo, M. Matei, M. Boboc, I. Cătuneanu, G. Deák, *Analysis of the Results from the Applied Technologies for Carbon Dioxide Sampling in Aquatic Ecosystems*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., **1216**, 012006, 2023. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1216/1/012006

[61] N. Enache, G. Deák, C. I. Covaliu-Mierlă, L. Laslo, M. Matei, M. Boboc, S. Stegarescu, L. Bugeac, D. Zaharia, *Carbon Content Estimation in an Aquatic Ecosystem Case Study through the Process of Leaf Litter Decomposition*, U.P.B. Sci. Bull., Series B, **86**(4), 2024.

[62] C. Akselsson, B. Berg, V. Meentemeyer, O. Westling, *Carbon Sequestration Rates in Organic Layers of Boreal and Temperate Forest Soils — Sweden as a Case Study*, Global Ecology and Biogeography, **14**, 2005, pp. 77–84. https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00133.x

[63] D. N. Moriasi, M. W. Gitau, N. Pai, P. Daggupati, *Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria*, Transactions of the ASABE, **58**(6), 2015, pp. 1763–1785. https://doi.org/10.13031/trans.58.10715

[64] W. R. Moomaw, G. L. Chmura, G. T. Davies, et al., *Wetlands in a Changing Climate: Science, Policy and Management*, Wetlands, **38**, 2018, pp. 183–205. https://doi.org/10.1007/s13157-018-1023-8

[65] Y. Zhang, X. Zhang, W. Fang, Y. Cai, G. Zhang, J. Liang, J. Chang, L. Chen, H. Wang, P. Zhang, Q. Wang, Y. Zhang, *Carbon Sequestration Potential of Wetlands and Regulating Strategies Response to Climate Change*, Environmental Research, **269**, 2025, p. 120890. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.120890

[66] A. Pradhan, A. Sao, T. K. Thakur, J. T. Anderson, G. Chandel, A. Kumar, V. Paramesh, D. Jinger, R. Kumar, *Wetlands as Climate-Sensitive Hotspots: Evaluating Greenhouse Gas Emissions in Southern Chhattisgarh*, Water, **17**(10), 2025, p. 1553. https://doi.org/10.3390/w17101553

[67] K. Zhang, Y. Wang, A. Mamtimin, Y. Liu, *Variation Characteristics and Influencing Mechanisms of CO_2 Flux from Grassland Ecosystem in the Central Tianshan Mountains, China*, Ecological Indicators, **170**, 2025, p. 113069. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113069

[68] X. Li, O. Wahlroos, S. Haapanala, J. Pumpanen, H. Vasander, A. Ojala, T. Vesala, I. Mammarella, *Carbon Dioxide and Methane Fluxes from Different Surface Types in a Created Urban Wetland*, Biogeosciences, **17**, 2020, pp. 3409–3425.

[69] M.S. Maier, C. R. Teodoru, B. Wehrli, *Spatio-Temporal Variations in Lateral and Atmospheric Carbon Fluxes from the Advantages of the Mean Absolute Error*, Biogeosciences, **18**, 2021, pp. 1417–1437.

[70] C. J. Willmott, K. Matsuura, *Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Average Model Performance*, Climate Research, **30**(1), 2005, pp. 79–82. https://doi.org/10.3354/cr030079