



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2019 00465

(22) Data de depozit: 29/07/2019

(41) Data publicării cererii:
30/03/2020 BOPI nr. 3/2020

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA "BABEȘ-BOLYAI" DIN
CLUJ-NAPOCA,
STR. MIHAIL KOGĂLNICEANU NR. 1,
CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(72) Inventatori:
• TUNYAGI ARTHUR ROBERT,
STR. GENERAL ION DRAGALINA NR. 31,
TURDA, CJ, RO;
• CUCOS ALEXANDRA LAURA,
STR. OBSERVATORULUI NR. 142, BL. 7B,
AP. 8, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;

• DICU TIBERIUS, STR. PLOPILOR NR. 79,
BL. P17, AP. 14, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;
• BOTOS MARIUS LUCIAN,
STR. MITROPOLIT ANDREI SAGUNA 34-36,
AP. 51, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;
• CHIOREAN COSMIN GRUIA,
STR. EMIL RACOVITĂ NR. 6,
CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;
• FERNANDEZ CARLOS SAINZ,
STR. PANDURILOR NR. 7, CLUJ-NAPOCA,
CJ, RO

(74) Mandatar:
ROMINVENT S.A., STR. ERMIL
PANGRATTI NR. 35, SECTOR 1,
BUCUREȘTI

(54) SISTEM INTELIGENT ȘI METODĂ DE DETERMINARE
ȘI CONTROL AL CONCENTRAȚIEI DE RADON
DIN INTERIORUL CLĂDIRILOR CIVILE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem inteligent și la o metodă de determinare și control al concentrației de radon dintr-o încăpere. Sistemul (S) conform invenției cuprinde: mijloace (3) exterioare de achiziționare a valorilor unor parametri ambientali externi, reprezentând temperatura, umiditatea și viteza și direcția vântului, mijloace (2) interioare de achiziționare a valorilor unor parametri ambientali interni, reprezentând temperatura din interiorul unei încăperi, mijloace (4) de calcul a concentrației de radon, mijloace (5) de control al concentrației de radon din respectiva încăpere, în care concentrația de radon se calculează ca o funcție de parametrii ambientali externi menționați și, respectiv, de parametrii ambientali interni menționați, iar mijloacele (5) de control al concentrației de radon declanșează ventilația respectivei încăperi în cazul în care concentrația de radon depășește un anumit prag prestabilit.

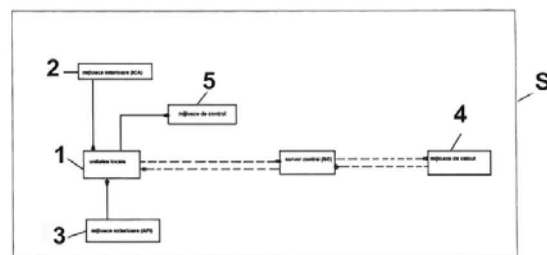


Fig. 1

Revendicări: 13
Figuri: 7

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art. 32 din Legea nr. 64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art. 23 alin. (1) - (3).



102

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2019 00465
Data depozit 29-07-2019..

SISTEM INTELIGENT ȘI METODĂ DE DETERMINARE SI CONTROL AL CONCENTRAȚIEI DE RADON DIN INTERIORUL CLĂDIRILOR CIVILE

Invenția de față se referă la un sistem inteligent și la o metodă de determinare și control al concentrației de radon dintr-o încăpere aparținând unei clădiri civile, numită în continuare locație. Pe parcursul prezentei descrieri de invenție, prin locație se înțelege o incintă închisă, încadrată de pereți, planșee, uși și ferestre, utilizată de exemplu ca spațiu de locuit sau de lucru.

Radonul ^{222}Rn este un gaz radioactiv inodor și incolor. El este generat prin dezintegrarea radioactivă a uraniului prezent în sol, ciment sau din materialele de construcție a unei locuințe, astfel ajungând în aerul din interiorul unei locuințe. Expunerea ființelor vii la inhalare pe termen lung a radonului și descendenților acestuia prezenți într-o încăpere închisă poate conduce la apariția cancerului de plămâni și în final la decese premature. Pentru a reduce concentrația de radon dintr-o încăpere, este necesar ca aceasta să fie ventilată periodic de către rezidenți, dar în timpul unor ierni geroase sau pe timpul nopții, acest proces de ventilare nu are loc în mod corespunzător, ceea ce poate conduce la acumularea radonului în aerul interior și implicit la afectarea sănătății persoanelor rezidente.

Directiva Europeană 2013/59/EURATOM, transpusă în legislația din România în Legea nr. 63/2018, prevede necesitatea protecției împotriva expunerii la radonul din interiorul locuințelor și al locurilor de muncă, prin identificarea acelor situații în care concentrația activității radonului în aer depășește nivelul de referință mediu anual stabilit la $300\text{Bq}/\text{m}^3$ și remedierea acestora.

Detectarea radonului într-o locație se poate face în prezent doar cu ajutorul unor dispozitive specifice de măsurare plasate în locația de interes, iar remedierea unei situații în care concentrația acestuia depășește limita admisă este posibilă prin realizarea unui mod eficient de ventilare. De multe ori aceste soluții de remediere a calității aerului dintr-o locație locuită pot fi scumpe, energofage sau cronofage. Deteriorarea calității aerului într-o locație este greu de sesizat de o persoană obișnuită care locuiește sau lucrează acolo în absența unui senzor adecvat, iar acumularea în timp a radonului poate conduce la scăderea calității aerului interior sub limite

considerate sigure pentru sănătate. În plus, dacă persoana nu este conștientă de deteriorarea calității aerului, remedierea acesteia prin acționarea unor mijloace de ventilație poate fi declanșată prea târziu, în ciuda celor mai bine direcționate eforturi ale persoanei rezidente în locația respectivă. În plus, în momentul declanșării, ventilația va trebui să funcționeze la putere maximă pentru a reduce rapid concentrația de radon de la pragul critic la valori acceptate. Acest lucru necesită consum crescut de energie și produce disconfort pentru persoanele aflate în locația respectivă.

În ultimii ani au fost propuse soluții de detectare, măsurare și/sau de monitorizare a concentrației de radon într-o locație, care includ și metode de remediere a depășirii nivelului admis de radon. Astfel, brevetul US 7,317,185B2 propune un sistem de detectare și monitorizare a radonului într-o locuință, sistem care transmite prin intermediul unor mijloace de comunicare, ca de exemplu internet, datele colectate la un receptor tampon care le poate stoca o anumită perioadă de timp, de exemplu o săptămână. În acest caz, soluția brevetată nu realizează o detecție în timp real a nivelului de radon dintr-o locație și nu cuprinde și mijloace de remediere a nivelului calității aerului în incinta monitorizată. Sistemul propus de brevetul US 7,317,185 furnizează un sistem de testare a prezenței radonului într-o locuință, realizând doar o monitorizare pe termen scurt a gazului menționat, sub forma unui test de detectare și dozare radon într-o locuință înainte de achiziționarea acesteia.

Un alt document, brevetul KR101446285B1 se referă la un sistem pentru monitorizarea radonului într-o locație, detectarea în timp real și transmiterea nivelurilor măsurate de radon la o unitate centrală care comandă o unitate de ventilație pentru a îmbunătăți calitatea aerului din respectiva locație. Soluția propusă prezintă dezavantajul că nu realizează o ventilație optimizată în timp real, care să conducă la un consum energetic eficient.

Invenția de față își propune eliminarea acestor dezavantaje prin propunerea unui sistem inteligent și a unei metode de determinare și control optimizat al concentrației de radon dintr-o locație.



Problema tehnică pe care invenția își propune să o rezolve este asigurarea unui sistem de determinare și control optimizat al nivelului de radon dintr-o locație, pe o perioadă lungă de timp, cu o eficiență energetică ridicată.

Soluția tehnică constă în asigurarea unui sistem inteligent de determinare și control optimizat al concentrației de radon dintr-o locație conform revendicărilor 1-5, și a unei metode de determinare și control optimizat al concentrației de radon dintr-o locație conform revendicărilor 6-13

Avantajele prezentei invenții constau în:

- Determinările de radon din locația menționată se realizează în timp real, monitorizarea efectuându-se pe o perioadă lungă de timp
- Permite controlul dispozitivelor de ventilare mecanică pentru menținerea unui nivel al concentrației de radon în interiorul unei locații în limitele acceptate
- Sistemul inteligent de determinare și control optimizat al concentrației de radon din respectiva locație funcționează pe baza unui model matematic înglobând funcții de calcul implementate într-un model numeric sau o funcție de calcul care previzionează concentrația de radon din incinta menționată la un anumit moment de timp în funcție de o serie de parametri de mediu externi furnizați de o prognoză meteo locală și de parametri de mediu interni furnizați în timp real sau valori ale acestora preluate de la un sistem de control ambiental interior.
- Determinarea funcției de calcul al concentrației de radon se realizează printr-un sistem de ecuații asociat modelului fizic echivalent 2D (în două dimensiuni). Acesta necesită puține resurse de calcul (hardware) și timp computațional scăzut, față de sistemele cunoscute în stadiul tehnicii pentru studiul interacțiunii fluid-structură și care de regulă se bazează pe modele 3D (în trei dimensiuni) implicând un efort computațional extrem de ridicat și totodată dificultăți în prelucrarea rezultatelor. Metoda de determinare și control al concentrației de radon dintr-o locație conform invenției, asigură o remediere a nivelului de radon în respectiva locație, realizând un consum energetic optimizat.

- Funcția de calcul dezvoltată pentru determinarea concentrației de radon poate fi aplicată diferențiat, în funcție de mecanismele de propagare a gazului radon în interiorul locației și de soluția de remediere aplicată.

Se va prezenta în continuare un exemplu de realizare nelimitativ a invenției și care este în legătură cu figurile 1 – 7, care reprezintă:

Figura 1a Schema bloc a unui sistem S inteligent de determinare și control optimizat al concentrației de radon din aer dintr-o locație conform unui exemplu de realizare

Figura 1b Schema bloc a unității locale 1 conform unui exemplu de realizare

Figura 2 Fluxul de precalibrare a funcției de calcul

Figura 3 Fluxul de verificare și calibrare a funcției de calcul

Figura 4 Fluxul de funcționare a sistemului integrat

Figura 5 Exemplu preferat de funcționare a sistemului inteligent de determinare și control al concentrației de radon dintr-o locație – precalibrare a funcției de calcul

Figura 6 Exemplu preferat de funcționare a sistemului inteligent de determinare și control al concentrației de radon dintr-o locație – calibrare a funcției de calcul

Figura 7 Exemplu preferat de funcționare a sistemului inteligent de determinare și control al concentrației de radon dintr-o locație – verificare a a funcției de calcul

Într-un prim aspect, invenția de față propune un sistem S inteligent de determinare și control optimizat al concentrației de radon din aer dintr-o locație care cuprinde:

- mijloace exterioare 3 de achiziționare a valorilor unor parametri ambientali externi reprezentând temperatura, umiditatea, viteza și direcția vântului din exteriorul locației;
 - mijloace interioare 2 de achiziționare a valorilor unor parametri ambientali interni reprezentând temperatura din interiorul locației;
 - mijloace 4 de calcul al concentrației de radon;
 - mijloace 5 de control al concentrației de radon din respectiva locație;
- caracterizat prin aceea că
- concentrația de radon se calculează ca o funcție de parametri ambientali externi achiziționați de mijloacele exterioare 3 și respectiv parametri ambientali interni achiziționați de mijloacele interioare 2; și

- mijloacele (5) de control al concentrației de radon declanșează ventilația respectivei locații în cazul în care concentrația de radon calculată depășește un anumit prag.

. Într-un al doilea aspect, invenția va furniza o metodă de determinare și control optimizat ale concentrației de radon dintr-o locație care cuprinde următoarele etape:

- preluarea într-un sistem inteligent S a parametrilor ambientali interni furnizați de mijloacele interioare 2, respectiv a parametrilor ambientali externi furnizați de mijloacele exterioare 3
- determinarea concentrației de radon din respectiva locație ca o funcție de parametrii ambientali interni și parametrii ambientali externi
- acționarea mijloacelor 5 de control al concentrației de radon din respectiva locație în cazul în care concentrația de radon calculată depășește un anumit prag prestabilit.

Într-un exemplu de realizare prezentat în figura 1a, un sistem S inteligent de determinare și control optimizat al concentrației de radon din aer dintr-o locație, cuprinde o unitatea locală 1 și un server central SC, capabile să comunice la distanță. Unitatea locală 1 primește valori ale unor parametri ambientali externi de la mijloace exterioare 3 și valori ale unor parametri ambientali interni de la mijloace interioare 2; aceste date sunt transmise și stocate pe serverul central SC, care calculează concentrația de radon pe baza acestora, folosind mijloacele de calcul 4. Valoarea calculată a concentrației de radon va fi retransmisă prin serverul central SC către unitatea locală 1. În caz de depășire a unui prag prestabilit al concentrației de radon în respectiva locație, unitatea locală 1 va acționa mijloace 5 de control al concentrației de radon din respectiva locație.

Pe parcursul prezentei descrieri de invenție prin mijloace exterioare 3 de achiziționare a valorilor unor parametri ambientali din exteriorul locației se înțelege orice dispozitiv capabil să primească date despre parametri ambientali externi, și anume temperatură, umiditate, viteză și direcție vânt din exteriorul locației, de exemplu prin accesarea la distanță a unei baze de date meteo. Într-un exemplu preferat, prin mijloacele exterioare se înțelege o aplicație software denumită aplicație API care accesează parametrii ambientali externi menționați din baze de date meteo accesibile pe web.

Prin aplicație API se înțelege pe parcursul prezentei descrieri de invenție, un sistem de funcții și proceduri care permite comunicarea între mai multe aplicații software și baze de date disponibile pe web.

Într-un exemplu preferat al prezentei invenții, parametri ambientali externi sunt preluați și stocați de aplicația API și valorile stocate sunt folosite la nevoie. Într-un alt exemplu preferat, parametri ambientali externi sunt colectați de aplicația API din baze de date specifice pe o perioadă prognozată de până la 7 zile.

Pe parcursul prezentei descrieri de invenție prin mijloace interioare 2 de achiziționare a valorilor unor parametri ambientali interni se înțelege orice dispozitiv capabil să achiziționeze date despre parametri ambientali interni, și anume temperatura din interiorul locației de exemplu de la un senzor de temperatură sau de la un sistem de control al temperaturii interioare. Opțional, mijloacele 2 interioare pot prelua date de la unul sau mai mulți senzori care detectează concentrația de radon din aerul din interiorul locației, presiunea și umiditatea din interiorul locației sau oxizi de carbon și substanțe organice volatile în aerul din locația menționată.

Pe parcursul prezentei descrieri de invenție, dispozitivul care primește date despre parametri ambientali interni mai poartă și denumirea de dispozitiv ICA. De exemplu, datele despre parametri ambientali interni pot fi furnizate de un senzor pentru măsurarea temperaturii ambientale, de preferință însoțit de un grup de senzori pentru măsurarea presiunii și umidității din respectiva locație, cum ar fi un senzor tip BME20, produs de firma Bosch, cu domeniul de măsurare pentru temperatură -40 - +85°C, cu precizie 0,01°C, pentru umiditate 0 - 100% Rh, precizie 0,008%Rh, pentru presiune atmosferică 300 – 11000 hPa, cu precizie 0,18Pa.

Într-un exemplu de realizare prezentat în figura 1b, senzori de temperatură, presiune și umiditate 23 se pot afla pe o placă de senzori 20, care mai cuprinde un microcontroler 21, o memorie nevolatilă EEPROM 22 pentru stocarea datelor suplimentare de calibrare, etalonare și mentenanță a plăcii de senzori, și toate circuitele suport necesare interfațării senzorilor cu microcontrolerul.

Suplimentar, mijloacele interioare 2 pot prelua date de la un senzor 25a de determinare a concentrației de radon în respectiva locație, aflat pe aceeași placă de senzori 20,

Suplimentar, placa de senzori mai poate conține senzori de detectare a oxizilor de carbon sau de substanțe organice volatile (VOC), cum ar fi un senzor 25c pentru CO, un senzor 25d pentru CO₂ și respectiv un senzor 25b pentru VOC. O sursă de alimentare poate asigura tensiunea necesară senzorilor, cât și filtre suplimentare astfel încât zgomotul electric de la componentele digitale să nu influențeze precizia de măsurare a senzorilor. În plus, placa de senzori mai poate conține o interfață ICSP 24 de programare a microcontrolerului.

Prin mijloace de calcul 4 conform invenției se înțelege un procesor capabil să execute operații matematice complicate, necesare calculului concentrației de radon.

Așa cum este prezentat în figura 1b, unitatea locală 1 este formată dintr-o placă de bază 10 pe care se află un microcontroler 11, de exemplu de tipul AtMeaga128, denumit microcontroler principal, care asigură operarea coerentă a modulelor integrate de pe placa de bază și interfața cu placa de senzori și o placă de afișaj. Pe placa de bază se regăsesc următoarele module integrate: o memorie nevolatilă locală EEPROM 12 utilizată pentru a păstra date particulare ale unității locale cum ar fi adresa geografică, ID, credențiale de la router-ul WiFi din locație, etc; o interfață USB 13 prin care se poate stabili o conexiune locală dintre unitatea locală 1 și un calculator PC, de exemplu pentru configurarea anumitor parametri ai sistemului (credențiale de la router-ul WiFi local) la instalare în locuința beneficiarului; un modul ICSP 14 necesar încărcării unui nou firmware, la nevoie, în microcontroler; un modul RTC 15 de timp real cu baterie care asigură un ceas local, util la logarea datelor în cazul în care conexiunea la internet nu funcționează; un modul de conversie de la protocolul SPI la UART necesar interfațării cu alte module; un modul WiFi 16 pentru comunicarea cu serverul central SC.

În plus, unitatea locală mai include un releu I/O 17 care poate controla alte dispozitive, de exemplu poate controla ventilația locației care se dorește a fi aerisită ca urmare a creșterii concentrației de radon peste limitele admise. Pornirea sistemului de ventilație se face cu ajutorul unor relee din acest modul. Tot acest modul permite și instalarea senzorilor externi, de exemplu de temperatură, presiune, etc, oferind posibilitatea monitorizării mai multor zone.

Suplimentar, unitatea locală 1 mai poate include o memorie FLASH 18 pentru salvarea datelor la nivel local. Astfel, în cazul în care unitatea locală 1 nu poate comunica cu serverul central SC, datele măsurate nu se pierd ci se salvează local, urmând să fie transferate către server după restabilirea conexiunii cu acesta.

Placa de afișaj 30 conține elementele de interfață cu utilizatorul și include un afișaj TFT 31, de preferat de tip touch-screen rezistiv și butoane 32 pentru folosire afișaj.

Prin mijloace 5 de control al concentrației de radon se înțelege în prezenta invenție acele dispozitive care permit înlocuirea aerului și a altor gaze, în special radon, aflate în locație, cu aer proaspăt. Aceste dispozitive, pot fi de exemplu, un sistem de ventilație, un aparat de aer condiționat sau structuri ale locației respective, care prin acționare manuală permit aerisirea acesteia, de exemplu ușă sau fereastră. Într-un mod preferat de realizare, acționarea mijloacelor 5 de control, se realizează prin intermediul unui releu situat pe unitatea locală 1, în urma instrucțiunilor primite de la serverul central SC. Preferabil releul este de tip Normal Open, cu contacti liberi de potențial, cu specificații de maxim 10A și 250V c.a., preferabil nu mai mare de 3A și 20V c.a. pentru sarcină rezistivă.

Funcția de calcul al concentrației de radon

În sistemul inteligent S conform prezentei invenții, determinarea concentrației de radon se poate face în timp real, prin folosirea datelor furnizate de mijloacele exterioare 3 și interioare 2 privitor la valorile unor parametri ambientali, care în mod surprinzător s-au dovedit a influența concentrația de radon dintr-o locație. Astfel, calcularea concentrației de radon în respectiva locație ca o funcție de diverși parametri ambientali externi și interni ai respectivei locații, unde se monitorizează și controlează concentrația de radon, se face prin intermediul unei funcții de calcul care furnizează posibilitatea de predicție a respectivei concentrații de radon pentru o perioadă de timp următoare. De exemplu, pentru realizarea unei predicții a concentrației de radon, se colectează:

- prin intermediul aplicației API, valorile prognozate pentru temperatură, viteză și direcție vânt pentru un anumit interval de timp, preferabil mai mic de 7 zile, mai preferabil mai mic de 24 ore, cel mai preferabil, mai mic de 3 ore, și

- date de la mijloacele interioare 3, valori de temperatură din interiorul locației conform predicției de temperatură furnizate de un sistem interior de termostatare a locației respective, sau conform datelor achiziționate de la senzorul de temperatură din interiorul locației menționate,

care se introduc în funcția de calcul a concentrației de radon și aceasta va furniza o concentrație previzionată de radon în respectiva locație pentru o perioadă de timp.

Funcția de calcul dezvoltată se poate aplica în mod diferențiat în funcție de mecanismele de propagare a radonului în locație, respectiv de localizarea sursei de radon. De exemplu, funcția de calcul propusă în continuare consideră că principala sursă de emanație a radonului în locația menționată provine din solul pe care respectiva locuință este construită, prin planșeul inferior al respectivei locații.

Prin planșeu inferior se înțelege pe parcursul prezentei invenții, o suprafață plană orizontală care separă spațiul de locuit de solul pe care este construit acest spațiu, fiind realizat dintr-un material de construcție folosit în mod uzual, preferabil beton folosit în construcțiile civile în acest scop. Pentru simplificarea planșeului inferior se va considera ca un mediu poros sau ca o placă cu găuri prin care are loc transferul de radon din sol spre interiorul locației considerate.

Sistemul S inteligent de control al concentrației de radon într-o locație folosește o funcție de calcul al concentrației de radon, determinată conform următoarelor etape:

- a) o etapă de precalibrare pentru stabilirea parametrilor ce definesc ecuația generală a funcției de calcul;
 - b) o etapă de calibrare a funcției de calcul prin care se verifică acuratețea parametrilor ce guvernează reprezentativitatea funcției de calcul în raport cu fenomenul real prin compararea rezultatelor furnizate prin apelarea funcției de calcul cu valorile obținute experimental de la un senzor de radon;
- în momentul în care funcția numerică de calcul a fost determinată și calibrată, se poate pune în funcțiune sistemul integrat, așa cum este descris în etapa c);
- c) o etapă de funcționare a sistemului integrat

a) Etapa de precalibrare a funcției de calcul

Într-un exemplu preferat descris în figura 2, prima etapă de dezvoltare a funcției de calcul pentru determinarea concentrației de radon în respectiva locație cuprinde următorii pași:

- i. stabilirea locației (P100)
- ii. identificarea sursei principale de radon prin utilizarea unui senzor de radon în exterior; preferabil determinarea concentrației de radon din sol se realizează dintr-o probă luată din solul din proximitatea locației respective, de la 1 m adâncime cu ajutorul unei sonde de extracție, fiind numită în continuare concentrație de echilibru (P101)
- iii. determinarea caracteristicilor constructive ale locației, cum sunt tipul de material de construcție folosit în locație, tipul de ventilare prezentă, naturală și/sau mecanică; construirea modelului geometric al acesteia; datele colectate la punctele i. și ii. intră în funcția de calcul sub formă de parametri (P102).
- iv. identificarea mecanismelor de propagare a radonului, respectiv a ratei de generare a radonului din sol, pe baza concentrației de echilibru determinată în (P101) și identificarea proprietăților fizice ale elementelor poroase prin care se face transferul de radon; datele colectate vor intra în funcția de calcul sub formă de parametri (P103)
- v. se instalează dispozitivul ICA pentru colectarea valorilor unor parametri ambientali interni, de exemplu temperatura din interiorul locației și se pornește aplicația API pentru colectarea de valori ale unor parametri ambientali externi, de exemplu temperatură, umiditate, viteză și direcție vânt (P104)
- vi. stabilirea prin rularea unor studii parametrice a principalilor parametri ai funcției de calcul cu influență majoră în transferul de radon către interiorul locației considerate, denumiți în continuare parametri critici- și stabilirea unor intervale de variație permisă pentru aceștia (P105)
- vii. transmiterea valorilor parametrilor ambientali interni sau condiții de contur interioare de la dispozitivul ICA (P106), și a valorilor parametrilor ambientali externi sau condiții de contur exterioare transmise de aplicația API (P107) către funcția de calcul

- viii. se rulează funcția de calcul cu datele de contur furnizate de mijloacele 3 exterioare (API), temperatură exterioară, viteză și direcție vânt, și cu datele de contur furnizate de mijloacele 2 interioare (dispozitiv ICA), temperatură interioară, (P108)
- ix. se compară valoarea concentrației de radon determinată cu funcția de calcul pe baza datelor de contur furnizate de mijloacele exterioare 3 (API) și de mijloacele interioare 2 (dispozitiv ICA), cu concentrația de radon din interiorul locației, determinată de senzorul de radon (P109)
- x. Se rețin valorile parametrilor critici ai funcției de calcul cu care se obține o valoare a concentrației de radon substanțial egală cu concentrația măsurată; se repetă pașii vi. – ix. pentru un număr prestabilit de valori ale parametrilor critici numite în continuare valori candidat, pentru a se alege funcția de calcul care oferă cea mai mică marjă de eroare a concentrației de radon previzionate (P110)

Funcția de calcul a concentrației de radon este reprezentată de ecuația generală (1) prezentată în continuare.

Funcția de calcul este formulată în metoda elementelor finite rezolvând problema difuziei și advecției prin medii poroase a radonului în regim staționar și nestaționar. Sistemul de ecuații generat în cadrul funcției de calcul rezultă prin rezolvarea următoarei ecuații diferențiale:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_e \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} - v_z \frac{\partial C}{\partial z} - \lambda C + \phi \quad (1)$$

în care:

C reprezintă concentrația de radon, [Bq/m³];

t reprezintă timpul de funcționare a sistemului, [s]

D_e reprezintă coeficientul de difuzie al radonului prin elementul echivalent al mediului poros prin care are loc transferul, [m²/s];

v_x și v_z reprezintă componentele vitezei aparente de deplasare a radonului prin respectivul element echivalent al mediului poros prin care are loc transferul, [m/s];

λ reprezintă constanta de dezintegrare a radonului, [s⁻¹];

φ reprezintă rata de generare a radonului, [Bq/m³].

x, y, z reprezintă axele unui sistem de coordonate carteziene.

În condiții staționare, aplicând metoda Galerkin, pentru elemente triunghiulare liniare, se obține o serie de ecuații (2), care reprezintă forma discretizată a ecuației (1) în metoda elementelor finite.

$$[D^{(e)}]\{C\} = \{F\} \quad (2)$$

în care:

$\{C\}$ reprezintă vectorul concentrațiilor necunoscute;

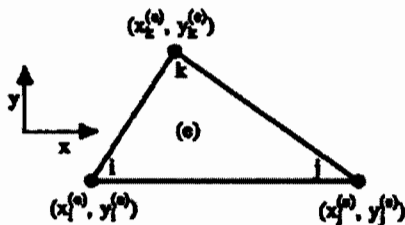
$\{F\}$ reprezintă vectorul surselor de radon în nodurile elementului triunghiular;

$[D^e]$ reprezintă matricea de rigiditate

$$\begin{aligned}
 [D^e] = & \iint_{A^e} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i^{(e)}}{\partial x} & \frac{\partial N_i^{(e)}}{\partial y} \\ \frac{\partial N_j^{(e)}}{\partial x} & \frac{\partial N_j^{(e)}}{\partial y} \\ \frac{\partial N_k^{(e)}}{\partial x} & \frac{\partial N_k^{(e)}}{\partial y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_x^{(e)} & 0 \\ 0 & D_y^{(e)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i^{(e)}}{\partial x} & \frac{\partial N_j^{(e)}}{\partial x} & \frac{\partial N_k^{(e)}}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i^{(e)}}{\partial y} & \frac{\partial N_j^{(e)}}{\partial y} & \frac{\partial N_k^{(e)}}{\partial y} \end{bmatrix} dx dy \\
 & + \iint_{A^e} \begin{bmatrix} N_i^{(e)} & N_j^{(e)} \\ N_j^{(e)} & N_k^{(e)} \\ N_k^{(e)} & N_i^{(e)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x^{(e)} & 0 \\ 0 & v_y^{(e)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i^{(e)}}{\partial x} & \frac{\partial N_j^{(e)}}{\partial x} & \frac{\partial N_k^{(e)}}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i^{(e)}}{\partial y} & \frac{\partial N_j^{(e)}}{\partial y} & \frac{\partial N_k^{(e)}}{\partial y} \end{bmatrix} dx dy \\
 & + \iint_{A^e} \begin{bmatrix} N_i^{(e)} \\ N_j^{(e)} \\ N_k^{(e)} \end{bmatrix} [\lambda] \begin{bmatrix} N_i^{(e)} & N_j^{(e)} & N_k^{(e)} \end{bmatrix} dx dy
 \end{aligned} \quad (3)$$

în care:

pentru elemente plane triunghiulare de tipul ilustrat mai jos



- funcțiile de interpolare sunt:

$$\begin{aligned} N_i^{(e)}(x, y) &= \frac{1}{2A^{(e)}}(a_i + b_i x + c_i y) \\ N_j^{(e)}(x, y) &= \frac{1}{2A^{(e)}}(a_j + b_j x + c_j y) \\ N_k^{(e)}(x, y) &= \frac{1}{2A^{(e)}}(a_k + b_k x + c_k y) \end{aligned} \quad (4)$$

- $A^{(e)}$ aria elementului triunghiular

$$A^{(e)} = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_i^{(e)} & y_i^{(e)} \\ 1 & x_j^{(e)} & y_j^{(e)} \\ 1 & x_k^{(e)} & y_k^{(e)} \end{vmatrix} \quad (5)$$

unde $x_{i,j,k}^{(e)}, y_{i,j,k}^{(e)}$ - coordonatele nodurilor i,j,k ale elementului triunghiular

$$\begin{aligned} a_i &= x_j^{(e)} y_k^{(e)} - x_k^{(e)} y_j^{(e)} & a_j &= x_k^{(e)} y_i^{(e)} - x_i^{(e)} y_k^{(e)} & a_k &= x_i^{(e)} y_j^{(e)} - x_j^{(e)} y_i^{(e)} \\ b_i &= y_j^{(e)} - y_k^{(e)} & b_j &= y_k^{(e)} - y_i^{(e)} & b_k &= y_i^{(e)} - y_j^{(e)} \\ c_i &= x_k^{(e)} - x_j^{(e)} & c_j &= x_i^{(e)} - x_k^{(e)} & c_k &= x_j^{(e)} - x_i^{(e)} \end{aligned} \quad (6)$$

Sistemul de ecuații ce trebuie rezolvat pentru a obține concentrațiile în fiecare nod al domeniului este obținut prin compunerea sistemelor elementare (formulate la nivel de element) sub forma unui sistem global de ecuații algebrice (la nivelul întregului domeniu poros) și rezolvarea sa.

Vitezele sunt obținute după rezolvarea sistemului de ecuații obținute prin aplicarea aceluiași procedeu Galerkin ecuației de continuitate scrisă pentru medii poroase. In această ecuație intră coeficienții de permeabilitate și câmpul de presiuni generate de sucțiunile aplicate pe conturul domeniului.

După calcularea valorilor nodale ale presiunilor și concentrațiilor se trece la determinarea concentrației interioare de radon:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{R_{RN}}{V} - (\lambda + \lambda_v)C \quad (7)$$

în care:

$\frac{dC}{dt}$ reprezintă gradientul concentrației de radon, [Bq/m³s];

V reprezintă volumul încăperii, [m³];

λ reprezintă constanta de dezintegrare Rn, [s⁻¹];

λ_v reprezintă numărul de schimburi orare, [s⁻¹],

Prin număr de schimburi orare se va înțelege pe parcursul descrierii prezentei invenții, raportul dintre volumul de aer curat ce pătrunde în locația respectivă într-o oră și volumul total al acesteia.

C reprezintă concentrația de radon în interiorul locației, [Bq/m³],

R_{RN} reprezintă rata de pătrundere a radonului în spațiul interior prin interfața de contact (planșeu inferior) [Bq/s];

unde R_{RN} se calculează cu ecuația (8):

$$R_{RN} = \iint (-D_{ech} \frac{dC}{dx} - \frac{k_{ech}}{\mu} \frac{dP}{dx} C) dx dy \quad (8)$$

în care:

D_{ech} reprezintă coeficientul de difuziune echivalent al plăcii cu goluri considerate, [m²/s],

k_{ech} reprezintă coeficientul de permeabilitate echivalentă al plăcii cu goluri, [m²],

$\frac{dC}{dx}$ reprezintă gradientul concentrației de radon,

$\frac{dP}{dx}$ reprezintă gradientul presiunii,

μ reprezintă coeficientul de vâscozitate dinamică a amestecului de aer/radon, [Ns/m²],

C reprezintă concentrația de radon [Bq/m³].

Modelul geometric 2D plan (în două dimensiuni) pentru descrierea transferului de radon prezentat mai sus rezolvă problema plană a transportului de radon în interiorul clădirilor,

iar transferarea rezultatelor spre un model în trei dimensiuni în spațiu (3D) se face prin integrarea rezultatelor pe suprafața de exhalare a radonului folosind simetria relativă a procesului simplificat. Acest tip de abordare asigură rapiditate în obținerea rezultatelor și dovedește eficiența modelului numeric în raport cu alte metode care se folosesc pentru rezolvarea integrală 3D a acestui tip de problemă.

b) Etapa de calibrare a funcției de calcul al concentrației de radon

Într-un exemplu preferat de realizare descris în figura 3, etapa de calibrare a funcției determinate în etapa anterioară a) cuprinde următorii pași:

- i. Se stabilește un interval de timp pentru verificarea funcției de calcul folosind valorile determinate în etapa precedentă a) pentru parametri critici în transferul radonului de la sursă în aerul din locația menționată - pasul (P201).
- ii. Pe parcursul intervalului de timp ales în pasul precedent i., se introduc în funcția de calcul date (condiții de contur) furnizate de mijloacele exterioare 3, prin intermediul aplicației API pentru temperatură, viteză și direcție vânt, și date (condiții de contur) furnizate de mijloacele interioare 2, de exemplu de la senzorul de temperatură din interiorul locației al dispozitivului ICA - pasul (P201).
- iii. Calcularea concentrațiilor de radon folosind funcția de calcul – pasul (P202)
- iv. Compararea valorilor obținute prin aplicarea funcției de calcul cu valorile concentrației de radon furnizate de mijloacele interioare 2, respectiv senzor de radon al dispozitivului ICA, în intervalul de timp ales în etapa i. – pasul (P203)
- v. Validarea funcției de calcul dacă valorile obținute pentru concentrația de radon se încadrează în limitele intervalului de încredere stabilit în etapa a) pasul x. (P110), pe parcursul intervalului de timp ales. – pasul (P204)
- vi. Dacă nu, se reiau pașii i. – v. pentru alte valori candidat ale parametrilor critici determinați la finalul etapei a) de precalibrare a funcției de calcul – pasul (P205)

c) Etapa de verificare și funcționare a sistemului inteligent de determinare și control al concentrației de radon

Într-un exemplu preferat de realizare descris în figura 4, după ce funcția de calcul a concentrației de radon a fost determinată și calibrată, aceasta este încărcată în aplicația de pe server, iar sistemul este gata de funcționare. În timpul funcționării, serverul SC primește date de la mijloacele exterioare 3, prin aplicația API și de la mijloacele interioare 2, prin intermediul unității locale 1 situate la locația de monitorizat. Într-un exemplu preferat, datele citite de senzorul de radon ICA sunt stocate continuu pentru a permite verificarea periodică a rezultatelor numerice și eliminarea eventualelor decalibrări ale sistemului, datorate unor schimbări ale parametrilor principali.

Astfel, prin aplicația aflată pe serverul SC, se preiau condiții de contur, de exemplu date despre temperatura din interiorul locației și despre temperatura, umiditatea, viteza și direcția vântului din exteriorul locației (pasul P301), iar condițiile de contur sunt folosite în funcția stabilită în pasul (P204) pentru calculul concentrației de radon la intervale prestabilite de timp, de exemplu la interval de o oră pe perioadă de timp considerată pentru monitorizarea concentrației de radon (P302).

În pasul (P303), se compară concentrația calculată conform funcției de calcul cu un prag prestabilit, peste care nivelul de radon din locație devine nociv, și în cazul în care concentrația este peste pragul respectiv, se trece la pasul (P304). Altfel, în cazul în care concentrația de radon este sub pragul critic nociv, se reia monitorizarea prin preluarea datelor de la senzor. Preferabil un prag prestabilit pentru concentrația de radon în aerul din locație este de 300 Bq/m^3 , mai preferabil 100 Bq/m^3 .

În pasul (P304), când se determină că s-a ajuns la o concentrație de radon peste pragul critic nociv, din aplicația aflată pe serverul SC se trimite o comandă către unitatea locală 1 care acționează mijloacele 5 de control al concentrației de radon, pentru reglarea sistemului de ventilație mecanică.

Într-un alt aspect, invenția își propune o metodă de determinare și control optimizat al concentrației de radon din aer dintr-o locație, utilizând o funcție de calcul al concentrației de radon determinată prin parcurgerea unor etape de precalibrare și calibrare a unei funcții de calcul prin care se prognozează concentrația de radon din respectiva locație. Suplimentar metoda menționată mai cuprinde etapa de validare în

funcționare a funcției de calcul prin care se prognozează concentrația de radon din respectiva locație.

Etapa 1: Într-un exemplu preferat de realizare descris în figura 5, se prezintă metoda pentru precalibrare a funcției de calcul pentru utilizare în prognoza concentrației de radon din respectiva locație care cuprinde:

- a) Stabilirea parametrilor care descriu geometria secțiunii transversale (modelarea 2D) a locației considerate pentru aplicarea funcției de calcul utilizată în prognozarea concentrației de radon în respectiva locație, de exemplu cei referitori la materialul elementului echivalent din planșeul inferior considerat prin care se realizează transferul de radon și dimensiunile acestuia, tipul de ventilare naturală sau mecanică existent, etanșeitarea locației considerate, așa cum este prezentat în tabelul 1 din figura 5;
- b) Stabilirea parametrilor care descriu proprietăți referitoare la rata de generare a radonului, permeabilitatea solului pentru radon, permeabilitatea planșeului inferior pentru radon, schimburi orare de radon, diferențe de presiune pe conturul suprafeței considerate, așa cum este prezentat în tabelul 1 din figura 5;
- c) Se realizează o serie de studii parametrice, eliminând elementele determinate din analiză ca fiind cu influență redusă asupra transferului de radon în locația considerată, așa cum este prezentat în tabelele 2 și 3 din figura 5;
- d) Se stabilesc parametri necunoscuți ai funcției de calcul care din studiile de sensibilitate rezultă a fi importanți în procesul de transfer al radonului în interior, respectiv
 - permeabilitatea echivalentă a plăcii planșeului inferior, considerat suprafață de transfer a radonului dinspre sursa de radon din sol spre interiorul locației menționate
 - numărul de schimburi orare, prin care se înțelege pe parcursul prezentei descrieri de invenție, raportul dintre volumul de aer curat ce pătrunde în locația respectivă într-o oră și volumul total al acesteia, așa cum este prezentat în tabelul 4 din figura 5

101

- e) Se stabilesc intervale de variație și numărul de valori generate pentru parametri menționați în pasul d) numite valori candidat
- f) Se pornește aplicația API pentru achiziționare date de parametri ambientali externi de exemplu, temperatură, umiditate, viteză și direcție vânt din exteriorul locației considerate, pentru a fi introduse în funcția de calcul (condiții de contur exterioare)
- g) Se trimit date de parametri ambientali interni de exemplu temperatura ambientală internă achiziționate de la senzorul interior din locație din dispozitivul ICA sau de la un sistem de termostatare din respectiva locație, pentru a fi introduse în funcția de calcul (condiții de contur interioare)
- h) Se efectuează experimente numerice pentru seturi diferite de valori candidat ale parametrilor necunoscuți stabiliți în pasul d), folosind condiții de contur exterioare și condiții de contur interioare determinate în pasul f), respectiv g) și se obține o valoare calculată conform cu funcția de calcul pentru concentrația de radon din interiorul locației
- i) Se compară valoarea concentrației de radon determinată cu funcția de calcul în pasul h) cu valoarea concentrației de radon măsurată cu mijloace interioare, de exemplu cu senzorul de radon 25a al dispozitivului ICA
- j) Dacă valoarea concentrației de radon obținută numeric se încadrează într-o marjă de eroare admisibilă față de valoarea măsurată a concentrației de radon, setul de valori alese pentru parametrii necunoscuți ai funcției de calcul este corect și se trece la etapa 2 - Metoda pentru calibrarea funcției de calcul pentru utilizare în prognoza concentrației de radon din respectiva locație
- k) Dacă valoarea concentrației de radon obținută numeric este în afara marjei de eroare admisibilă față de valoarea măsurată a concentrației de radon, se reiau pașii de la h) la j). din etapa 1

Etapa 2 - Într-un exemplu preferat de realizare descris în figura 6, se prezintă metoda pentru calibrare a funcției de calcul pentru utilizare în prognoza concentrației de radon din respectiva locație, care cuprinde următorii pași:

- a. Se consideră în funcția de calcul valorile determinate în etapa 1 pentru parametrii importanți în procesul de transfer al radonului în interior permeabilitatea echivalentă a plăcii planșeului inferior și numărul de schimburi orare
- b. Se efectuează o analiză tranzitorie pe baza datelor de intrare livrate de aplicația API – condiții de contur exterioare, respectiv de dispozitivul ICA – condiții de contur interioare, pe parcursul unei perioade de timp prestabilite
- c. Se compară rezultatele generate de funcția de calcul cu datele furnizate de dispozitivul ICA în perioada de timp stabilită
- d. Dacă rezultatele obținute se înscriu în marja de eroare a măsurătorilor efectuate de dispozitivul ICA, se trece la etapa 3 - Metoda pentru validare în funcționare a funcției de calcul pentru utilizare în prognozarea concentrației de radon din respectiva locație
- e. Dacă rezultatele obținute nu se înscriu în marja de eroare a măsurătorilor efectuate de dispozitivul ICA, se alege un alt set de valori candidat și se repetă pașii a.- d.

Etapa 3 - Într-un exemplu preferat de realizare descris în figura 7, se prezintă metoda pentru validare în funcționare a funcției de calcul pentru utilizare în prognoza concentrației de radon din respectiva locație, care cuprinde următorii pași:

- i. Funcția precalibrată și calibrată în regim tranzitoriu este pusă în funcțiune pe serverul SC.
- ii. Se setează un prag prestabilit pentru concentrația de radon în aerul din locație, preferabil între 100 și 300 Bq/m³ peste care concentrația de radon se consideră nocivă pentru o ființă umană
- iii. Se notează poziția amplasamentului unde se află locația considerată, în care se determină și controlează concentrația de radon din aerul interior.
- iv. Se culeg date meteo previzionate și în timp real din amplasament, furnizate de aplicația API

Dacă există un sistem performant de control al temperaturii interioare, care poate funcționa cu temporizare sau fără, se achiziționează datele furnizate de acesta și se trece la calculul previzionat al concentrațiilor interioare de radon pe baza sucțiunilor calculate. Dacă controlul temperaturii interioare nu este posibil,

calculele se fac în timp real. Sucțiunile se calculează în timp real și valoarea concentrației de radon se calculează pentru pasul de timp setat, preferabil la interval de 1 oră.

- v. Dacă concentrațiile previzionate depășesc valoarea prestabilită, se pornește sistemul de remediere, de preferință doar în intervalul de timp necesar pentru ca respectiva concentrație de radon să revină sub pragul de concentrație admisibil.

Se prezintă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile 1 – 7, care prezintă doar un mod preferat de ilustrare a sistemului inteligent și a metodei de determinare și control al concentrației de radon dintr-o locație, fără a constitui o limitare a invenției.

Exemplu de parcurgere a etapei de precalibrare:

- Echipa responsabilă cu măsurătorile se deplasează la obiectiv și identifică elementele principale ale locației și solului din apropierea fundației. Se realizează/sau se obține releveul clădirii. Se efectuează o serie de măsurători cu privire la permeabilitatea, respectiv concentrațiile de radon din sol, se identifică potențiale surse de radon, precum și tipul de ventilare prezent în locație, respectiv ventilare naturală și/sau mecanică.
- În continuare, se consideră următoarele:
 - a. Solul este principala sursă de radon. Acesta se consideră uscat, omogen, având permeabilitatea egală cu $1E-12 \text{ m}^2$ (P29, tabel 1 din figura 5) și porozitatea egală cu 0,50; pentru a determina coeficientul de difuzie a radonului prin mediul poros considerat, se va utiliza modelul Millington Quirk. Concentrația de radon în sol la adâncimea de 1 metru măsurată de echipa din teren este egală cu $21,2 \text{ kBq/m}^3$ și este folosită pentru a calcula rata de degenerare a radonului uniform distribuită în solul din jurul clădirii
 - b. Pentru a lua în calcul aportul de radon din sol se alege pe baza studiilor de sensibilitate ca domeniul reprezentat de sol în funcția numerică de calcul să fie extins la cel puțin 10 metri de la structurile din beton (P4,P5, tabel 1, figura 5)
 - c. Subsolul clădirii cu dimensiunile de $5 \times 5 \times 5$ (reduc în modelul numeric la $2,5 \times 2,5 \times 2,5$, considerând simetria fenomenului (P1 tabel 1, din figura 5)) este

încăperea în care radonul pătrunde prin intermediul plăcii plafonului inferior din beton cu grosimea de 0,15 m (P2, tabel 1' figura 5) și se propagă în restul clădirii prin ventilarea naturală a aerului. Se identifică o serie de fisuri cu lățimea de aproximativ 1 mm.

- d. sub placa de beton, conform proiectului de execuție a clădirii, se identifică un strat de pământ de adâncime 0,50 metri (P3), cu permeabilitatea $1E-8 \text{ m}^2$ (P25) și porozitatea 0,17, rezultând coeficientul de difuzie a radonului prin mediul poros calculat pe baza Millington Quirk (P26).
- Pereții subsolului sunt compacți și fără fisuri; sunt eliminați din funcția de calcul; se decide ca sistemul de remediere să se bazeze pe creșterea ratei de ventilare a aerului din acest spațiu folosind ventilarea mecanică. Datele sunt prelucrate și transferate aplicației numerice sub forma unor parametri, așa cum este prezentat în tabelul 1 din figura 5, și anume:
 - de la P1 la P7 - parametri ce țin de geometria secțiunii transversale pe care se face analiza plană,
 - de la P25 la P31 - parametri setați pentru diferite proprietăți fizice ale elementelor poroase prin care se face transferul de radon spre locația considerată,
 - Parametru P32 reprezintă schimburile orare,
 - Se realizează o serie de studii de parametrice, eliminând elementele determinate din analiză ca fiind cu influență redusă, urmată de setarea unor intervale permise de variație pentru parametrii asupra cărora planează un grad ridicat de incertitudine și care din studiile parametrice rezultă a fi importanți în procesul de transfer a radonului în interior, respectiv permeabilitatea echivalentă a plăcii (datorită incertitudinilor datorate gradului de fisurare a plăcii de beton) și schimburile orare, așa cum se vede în tabel 2 din figura 5
 - Sunt setate intervalele permise de variație a acestor doi parametri, pentru permeabilitatea plăcii echivalente între $1E-8$ și $1E-10 \text{ m}^2$, iar pentru schimburile orare între $0,1$ și 1 h^{-1} ;

- Se efectuează un număr de 20 de experimente numerice pentru valori diferite ale acestor parametri în așa fel încât să fie acoperite toate valorile și combinațiile posibile, așa cum se arată în tabelul 3 din figura 5.
- Datele rezultate sunt folosite pentru a obține un număr de puncte candidat, respectiv perechi de valori pentru care se obține concentrația interioară citită la fața locului de echipa responsabilă cu diagnosticarea in situ. Se setează concentrația interioară măsurată la momentul deplasării echipei la obiectiv, la valoarea 3,5 Bq/m³, suucțiunea egală cu 5Pa, calculată pe baza datelor meteo înregistrate la data efectuării investigațiilor;
- Se obțin trei seturi de valori candidat, prin interpolarea rezultatelor obținute în cadrul experimentelor numerice realizate la pasul anterior, așa cum este prezentat în tabelul 4 din figura 5

Exemplu de parcurgere a etapei de calibrare care cuprinde următorii pași:

- Se alege un interval de timp în care se înregistrează: temperaturi din interior, respectiv din exterior, furnizate respectiv, cea din interior de către sistemul ICA, cea din exterior de către aplicația API, împreună cu viteza aerului exterior. Se determină graficul de variație a suucțiunii ce apare la nivelul radierului (trasat cu albastru în figura 6) cu valorile cuprinse între -1 și -11 Pa; prin suucțiune se va înțelege pe parcursul descrierii, diferența dintre presiunea din interiorul locației și presiunea atmosferică. Aceste valori sunt calculate ținând cont de diferențele de temperatură dintre interior și exterior și de viteza medie a curenților de aer exterior, folosind relația următoare:

$$\Delta p = \Delta p_v + \Delta p_t = \frac{1}{2} \rho v^2 C - 273 \rho \Delta h \left(\frac{1}{T_{ext}} - \frac{1}{T_{int}} \right) \quad (9)$$

în care:

Δp suucțiunea, [Pa];

Δp_v suucțiunea creată de mișcarea aerului exterior, [Pa];

Δp_t suucțiunea creată de gradientul de temperatură, [Pa];

ρ densitatea aerului, 1,17 [kg/m³];

v , viteza medie a aerului, furnizată în valori medii orare de aplicația API, [m/s];

C coeficient de presiune, 1,2;

Δh poziția planului neutru raportat la suprafața de exhalare, 5 metri;

T_{ext} , T_{int} temperatura exterioară, respectiv temperatura interioară [°C].

- Valorilor de concentrație de radon măsurate de dispozitivul ICA (trasat cu cu negru, în figura 6) li se aplică marja de incertitudine (banda gri, în figura 6):
 - $\pm 1,68 \times C_{int}$ dacă valorile înregistrate sunt mai mici de 100 Bq/m³, respectiv
 - $\pm 1,36 \times C_{int}$ dacă valorile măsurate sunt cuprinse între 100 Bq/m³ și 1000 Bq/m³.

Rezultatele obținute folosind punctele candidat obținute numeric (trasat cu verde, în figura 6) sunt comparate cu valorile măsurate, apoi se va alege setul de puncte candidat 2 datorită rezultatelor bune obținute (tabel 4 în figura 5).

Exemplu de parcurgere a etapei de funcționare efectivă a sistemului de control, în legătură cu figura 7:

- Funcția de calcul precalibrată și calibrată este pusă în funcțiune pe serverul SC.
- Se setează o concentrație de control, respectiv o valoare maximă admisă, egală cu 100 Bq/m³
- Se culeg datele meteo previzionate și în timp real din amplasament (furnizate de API) pe baza cărora se calculează sucțiunile cu relația : $\Delta p = \Delta p_v + \Delta p_t$
- Având în vedere că sistemul de termoficare din locația respectivă menține valoarea temperaturii interioare la o valoare cunoscută și temporizată, se trece la calculul previzionat al concentrațiilor interioare pe baza sucțiunilor.

Dacă concentrațiile previzionate depășesc valoarea prestabilită, se pornește sistemul de remediere strict pe intervalul de timp în care se previzionează această depășire, analizând valorile calculate: pentru rezultatele previzionate sub concentrația maximă admisă de 100 Bq/m³, așa cum se prezintă în figura 7,

sistemul nu pornește sistemul de remediere, constatându-se o încadrare a valorilor previzionate în limitele admise;

- dacă pentru rezultatele previzionate conform cu figura 7, sistemul constată o depășire a nivelului de control (pe perioadele marcate cu roșu), se decide acționarea mijloacelor de control al concentrației de radon din aerul din interiorul locației considerate pentru a realiza remedierea calității aerului.

Acționarea mijloacelor de control ale concentrației de radon conform invenției realizează o creștere a schimburilor orare la $1,5 \text{ h}^{-1}$. Acest lucru este posibil prin montarea unei instalații de ventilare mecanică. Ea este obținută folosind un ventilator axial capabil să extragă $150 \text{ m}^3/\text{h}$. În mod natural sistemul preconizează că schimburile orare sunt egale cu $0,5 \text{ h}^{-1}$. Rezultatele prezentate în figura 7 sunt obținute pentru ventilarea naturală. Zonele marcate cu roșu sunt perioadele în care ventilarea mecanică este necesară și trebuie să intervină, respectiv în total aproximativ o zi din cele 8 pentru care se execută prognoza concentrațiilor în spațiul interior.

Sistemul clasic de remediere presupune funcționarea continuă a sistemului de ventilare. Prin aplicarea sistemului inteligent de determinare și control al concentrației de radon conform invenției se va realiza pentru perioada analizată o reducere a costurilor cu energia electrică la aproximativ 12% raportat la soluția clasică.

Suplimentar se mai realizează și o economie cu energia termică. Ținând seama de faptul că într-un sistem cu remediere clasică a concentrației de radon în interiorul locației, un schimb orar înseamnă că în fiecare oră 125 m^3 de aer pătrund în interior la temperatura exterioară, aceasta determină costuri suplimentare cu energia termică în sezonul rece. Sistemul propus de prezenta invenție realizează o reducere cu 12% a costurilor cu energia termică în perioada rece a anului față de un sistem clasic de ventilare mecanică.

Sistemul conform invenției are avantajul că pornește sistemul de remediere prin acționarea mijloacelor de control doar pentru perioade de timp în care este previzionată depășirea pragului impus pentru concentrația de radon în aerul interior. În plus soluția propusă pentru determinarea funcției de calcul a concentrației de radon într-o locație folosește o soluție de calcul 2D care comparativ cu un sistem de calcul 3D, necesită

mai puține resurse și semnificativ mai puțin timp de calcul pentru obținerea unui rezultat corect. În mod avantajos, soluția 2D calibrată pe care se bazează funcția de calcul a concentrației de radon conferă un grad de acuratețe similar soluției 3D cu un efort computațional semnificativ mai redus.

Recalibrarea sistemului, parcurgerea etapelor de precalibrare și calibrare, este necesară la perioade de minim 6 luni.

REVENDICĂRI

1. Sistem (S) inteligent de determinare și control optimizat al concentrației de radon din aer dintr-o locație care cuprinde:

- mijloace exterioare (3) de achiziționare a valorilor unor parametri ambientali externi reprezentând temperatura, umiditatea și viteza și direcția vântului din exteriorul locației;
 - mijloace interioare (2) de achiziționare a valorilor unor parametri ambientali interni reprezentând temperatura din interiorul locației;
 - mijloace (4) de calcul a concentrației de radon;
 - mijloace (5) de control a concentrației de radon din respectiva locație;
- caracterizat prin aceea că

- concentrația de radon se calculează ca o funcție de parametri ambientali externi achiziționați de mijloacele exterioare (3) și respectiv parametri ambientali interni achiziționați de mijloacele interioare (2); și
- mijloacele (5) de control al concentrației de radon declanșează ventilația respectivei locații în cazul în care concentrația de radon calculată depășește un anumit prag prestabilit.

2. Sistem conform revendicării 1, în care funcția de calcul a concentrației de radon poate fi descrisă de Ecuația (1):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_e \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} - v_z \frac{\partial C}{\partial z} - \lambda C + \phi \quad (1)$$

în care

C reprezintă concentrația de radon, Bq/m³;

t reprezintă timpul de funcționare a sistemului, s

D_e reprezintă coeficientul de difuzie al radonului prin elementul echivalent al mediului poros prin care are loc transferul, m²/s ;

v_x și v_z reprezintă componentele vitezei aparente de deplasare a radonului prin respectivul element echivalent al mediului poros prin care are loc transferul, m/s;

λ reprezintă constanta de dezintegrare a radonului, s⁻¹;

φ reprezintă rata de generare a radonului, Bq/m³;

x, y, z reprezintă axele unui sistem de coordonate carteziene,

în care Ecuația 1 se rezolvă prin metoda elementelor finite, descrisă de Ecuația 2:

$$[D^{(e)}]\{C\} = \{F\} \quad (2),$$

în care

$\{C\}$ reprezintă vectorul concentrațiilor necunoscute;

$\{F\}$ reprezintă vectorul surselor de radon în nodurile elementului triunghiular;

$[D^e]$ reprezintă matricea de rigiditate,

și folosind un algoritm 2D care se obține prin rezolvarea Ecuației 7:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{R_{RN}}{V} - (\lambda + \lambda_v)C \quad (7),$$

în care:

$\frac{dC}{dt}$ reprezintă gradientul concentrației de radon, Bq/m³s;

V reprezintă volumul încăperii, m³;

λ reprezintă constanta de dezintegrare s⁻¹;

λ_v reprezintă numărul de schimburi orare, s⁻¹;

C reprezintă concentrația de radon în interiorul locației, Bq/m³.

R_{RN} reprezintă rata de pătrundere a radonului în spațiul interior prin interfața de contact, Bq/s,

unde R_{RN} se obține prin rezolvarea Ecuației 8

$$R_{RN} = \iint (-D_{sch} \frac{dC}{dx} - \frac{k_{sch}}{\mu} \frac{dP}{dx} C) dx dy \quad (8),$$

în care:

D_{sch} reprezintă coeficientul de difuziune echivalent al plăcii cu goluri considerate, m²/s

k_{sch} reprezintă coeficientul de permeabilitate echivalentă al plăcii considerate cu goluri, m²

$\frac{dC}{dx}$ reprezintă gradientul concentrației de radon,

$\frac{dP}{dx}$ reprezintă gradientul presiunii

μ reprezintă coeficientul de vâscozitate dinamică a amestecului de aer/radon, Ns/m^2

C reprezintă concentrația de radon, Bq/m^3 .

3. Sistem conform revendicării 1 sau 2, în care valorile corespunzătoare parametrilor ambiantali interni sunt achiziționate ca valori determinate în timp real sau ca valori prognozate preluate dintr-un sistem de control al temperaturii interioare.

4. Sistem conform revendicării 1 sau 2 cu rol de prognoză a concentrației de radon, în care valorile corespunzătoare parametrilor ambiantali externi sunt preluate din baze de date dedicate cu informații cuprinzând prognoză meteorologică.

5. Sistem conform oricărei revendicări de la 1 la 4, în care concentrația de radon calculată reprezintă o valoare prognozată pentru concentrația de radon din locație la un moment de timp t_2 ulterior momentului de timp t_1 în care se face calculul, iar mijloacele (5) de control declanșează ventilația la un moment de timp cuprins între t_1 și t_2 , atunci când concentrația de radon calculată depășește pragul menționat.

6. Metodă de determinare și control optimizat ale concentrației de radon dintr-o locație care cuprinde următoarele etape:

- preluarea într-un sistem inteligent (S) conform revendicărilor 1 – 5 a parametrilor ambiantali interni furnizați de mijloacele interioare (2), respectiv a parametrilor ambiantali externi furnizați de mijloacele exterioare (3),
- calcularea concentrației de radon din respectiva locație ca o funcție de parametri ambiantali interni și parametri ambiantali externi
- acționarea mijloacelor (5) de control al concentrației de radon din respectiva locație în cazul în care concentrația de radon calculată depășește un anumit prag prestabilit.

7. Metodă de determinare și control optimizat conform revendicării 6, în care funcția de calcul al concentrației de radon se determină parcurgând etapele de precalibrare pentru stabilirea parametrilor ce guvernează ecuația generală a funcției menționate, respectiv de calibrare a funcției menționate prin care se verifică acuratețea funcției de calcul prin compararea cu valorile obținute experimental de la un senzor de radon.

8. Metodă conform revendicării 7, în care etapa de precalibrare a ecuației generale a funcției de calcul cuprinde următorii pași:

- i. identificarea parametrilor funcției de calcul care iau în considerare geometria și proprietățile fizice ale suprafeței planșeului inferior prin care se realizează transferul de radon de la sursă în interiorul locației menționate (P100, P101, P102),
- ii. identificarea parametrilor funcției de calcul care descriu procesul de transfer al radonului din sol (P103),
- iii. realizarea de studii parametrice și de sensibilitate pentru eliminarea parametrilor cu influență redusă în procesul de transfer al radonului de la sursă în locația menționată (P104, 106, 107),
- iv. stabilirea parametrilor semnificativi în procesul de transfer al radonului de la sursă în locația menționată, respectiv permeabilitatea echivalentă a plăcii considerată suprafață de transfer a radonului și numărul de schimburi orare (P105).
- v. stabilirea intervalelor de variație și a numărului de valori generate pentru parametrii semnificativi menționați (P105),
- vi. efectuarea de experimentări numerice pentru seturi de valori ale parametrilor semnificativi menționați, cu date transmise de mijloacele exterioare (3) și respectiv, mijloacele interioare (2) (P108),
- vii. compararea valorii concentrației de radon calculată prin funcția de calcul cu valoarea concentrației de radon citită de mijloacele interioare (2) (P109),
- viii. reluarea pașilor i.- vii. dacă valoarea obținută cu funcția de calcul este în afara marjei de eroare admisibilă față de valoarea citită de mijloacele interioare (2), sau respectiv, trecerea la etapa de calibrare a funcției de calcul prin care se

prognozează concentrația de radon dacă valoarea obținută cu funcția de calcul este în marja de eroare admisibilă față de valoarea citită de mijloacele interioare (2) (P110).

9. Metodă conform revendicării 7, în care etapa de calibrare a funcției de calcul cuprinde următorii pași:

- a) considerarea funcției de calcul cu valorile candidat ale parametrilor semnificativi, permeabilitatea echivalentă a plăcii și respectiv, numărul de schimburi orare, pentru care valoarea concentrației de radon determinată numeric conform revendicării 8 este în intervalul de încredere admisibil,
 - b) se rulează funcția de calcul pentru o perioadă de timp de ordinul zilelor, preferabil 7 zile, cu datele furnizate de mijloacele exterioare (3), respectiv cu datele furnizate de mijloacele interioare (2) (P201, P202),
 - c) compararea rezultatelor generate de funcția de calcul cu valorile concentrației de radon furnizate de mijloacele interioare (2) în perioada de timp stabilită (P203),
 - d) reluarea pașilor a)-c) cu alte valori candidat ale parametrilor semnificativi, dacă rezultatele obținute cu funcția de calcul sunt în afara unei marje de eroare admisibilă față de valorile furnizate de mijloacele interioare (2) (P205), sau respectiv,
- validarea funcției de calcul stabilită la punctul a), dacă rezultatele obținute sunt în marja de eroare admisibilă față de valorile furnizate de mijloacele interioare (2) (P204).

10. Metodă conform revendicării 6, în care funcția de calcul al concentrației de radon se validează într-o etapă suplimentară de funcționare a sistemului (S), care cuprinde următorii pași:

- 1) se instalează funcția de calcul calibrată pe server,
- 2) se introduc datele previzionate furnizate de mijloacele exterioare (3), respectiv datele furnizate de mijloacele interioare(2) (P301),

- 3) se furnizează de către funcția de calcul, a concentrațiilor de radon previzionate în locația menționată (P302),
- 4) dacă concentrația previzionată depășește valoarea de prag prestabilită admisibilă a concentrației de radon în respectiva locație, se acționează mijloacele (5) de control al concentrației de radon (P304).

11. Metodă conform revendicării 6, în care parametri ambientali externi, temperatură, umiditate, direcție și viteză vânt sunt valori prognozate, furnizate de aplicația API și în care parametri ambientali interni, temperatură în respectiva locație pot fi valori determinate în timp real sau valori prognozate, dacă există un sistem de termostatare în interiorul respectivei locații.

12. Metodă conform revendicării 6, în care calcularea concentrației de radon din respectiva locație ca o funcție de parametri ambientali interni, respectiv parametri ambientali externi se face cu o funcție conform revendicării 2.

13. Metodă conform revendicării 6, în care mijloacele (5) de control al concentrației de radon din respectiva locație sunt dispozitive care permit înlocuirea aerului și a altor gaze, în special radon, aflate în locație, cu aer proaspăt, de preferință un sistem de ventilație, un aparat de aer condiționat sau structuri ale locației respective, care prin acționare manuală permit aerisirea acesteia.

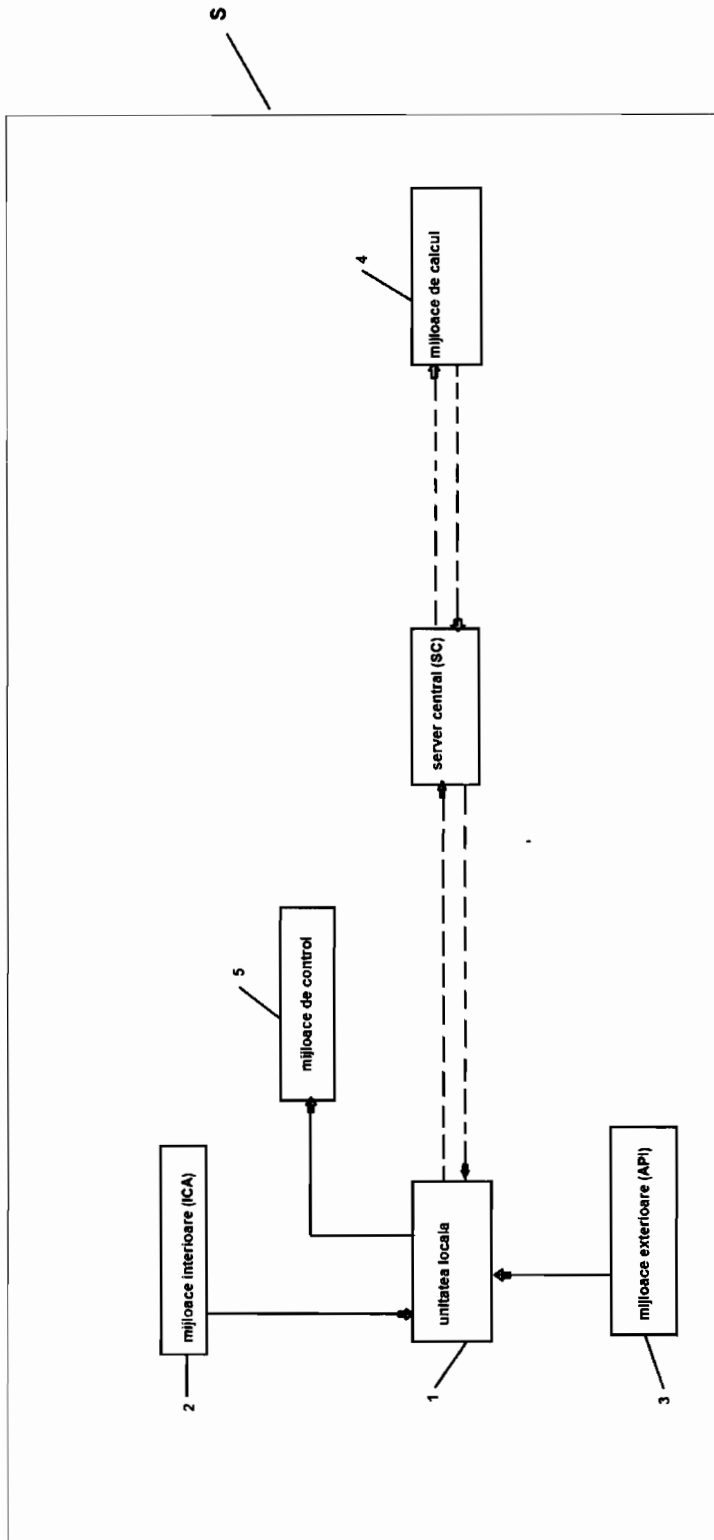


Figura 1a Schema bloc a sistemului conform unui exemplu de realizare

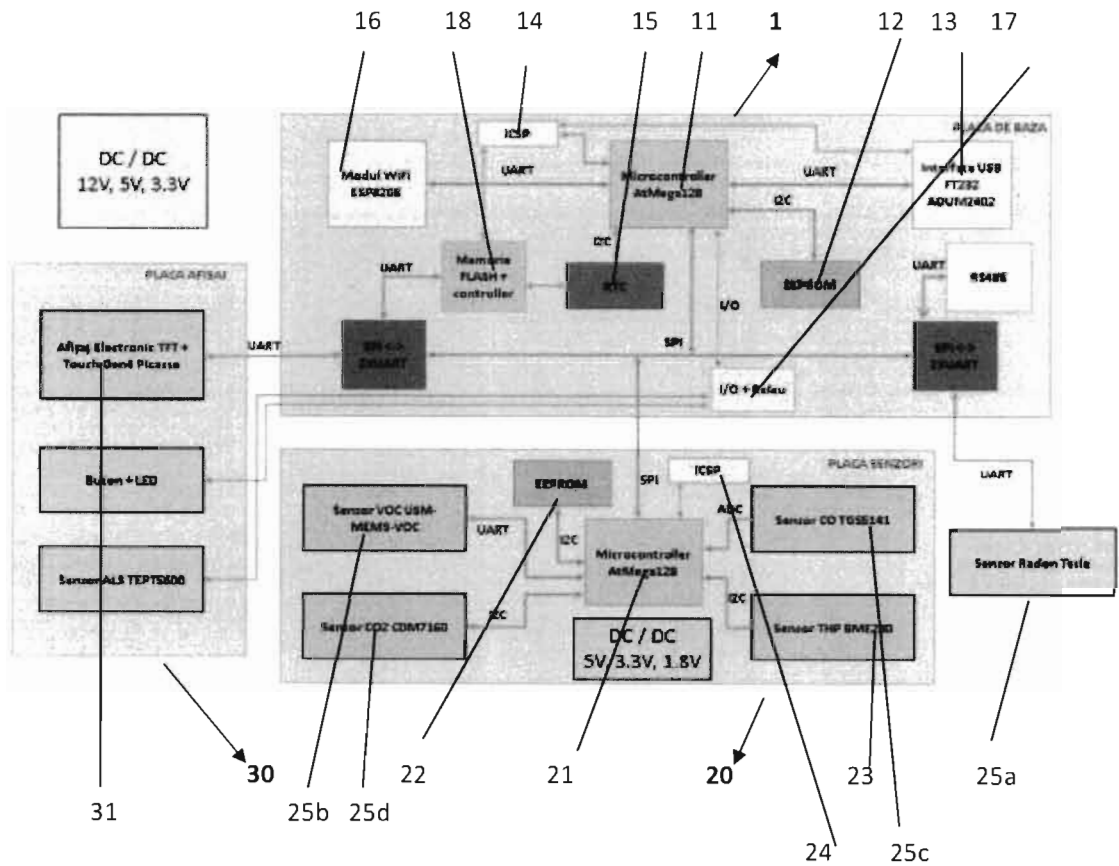


Figura 1b Schema bloc a unității locale (1) conform unui exemplu de realizare

P100

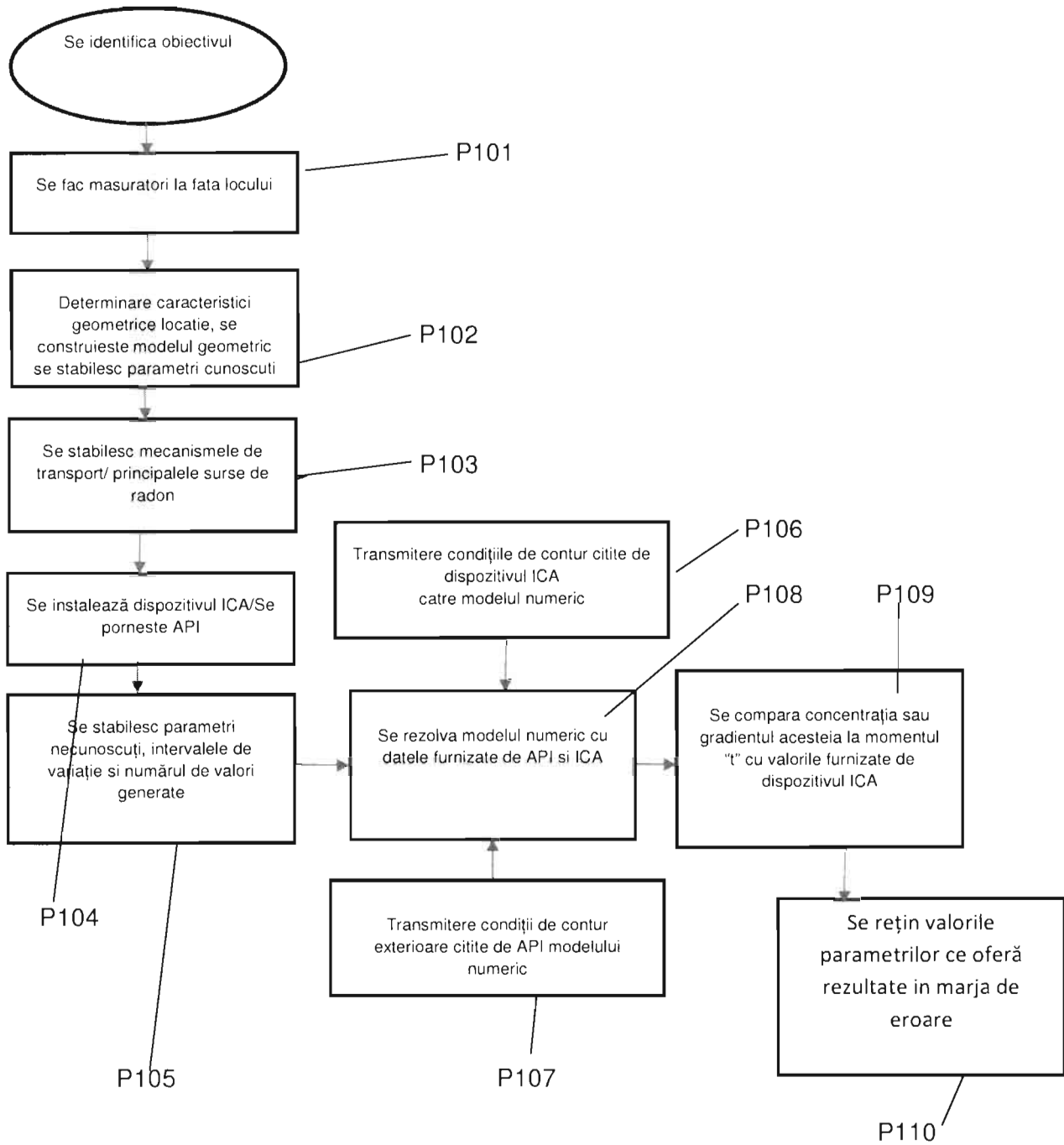


Figura 2 Fluxul de precalibrare a funcției de calcul

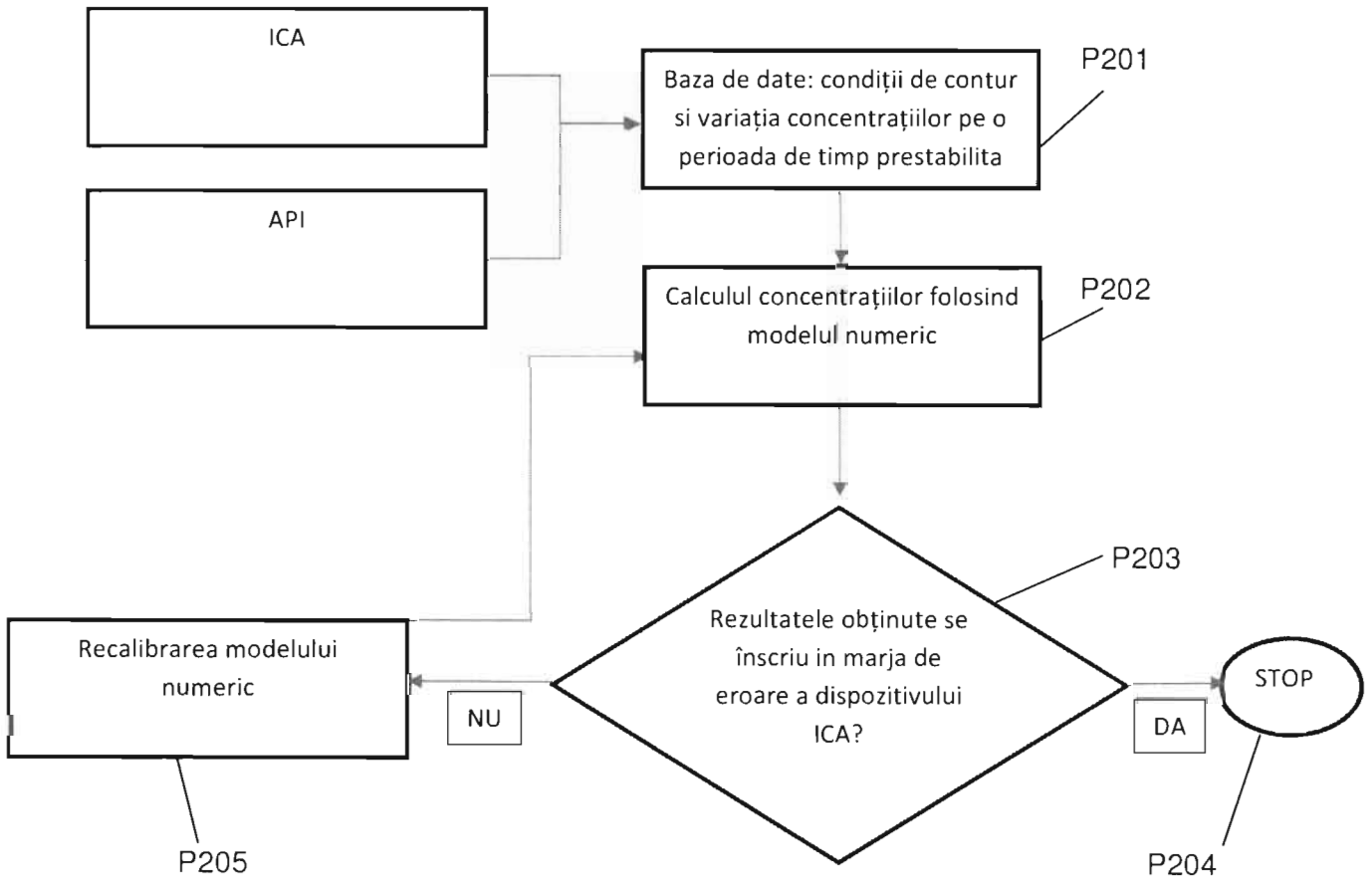


Figura 3 Fluxul de calibrare a funcției de calcul

Figura 4 Fluxul de funcționare a sistemului integrat (*funcție de calcul asistată de date experimentale/înregistrări*)

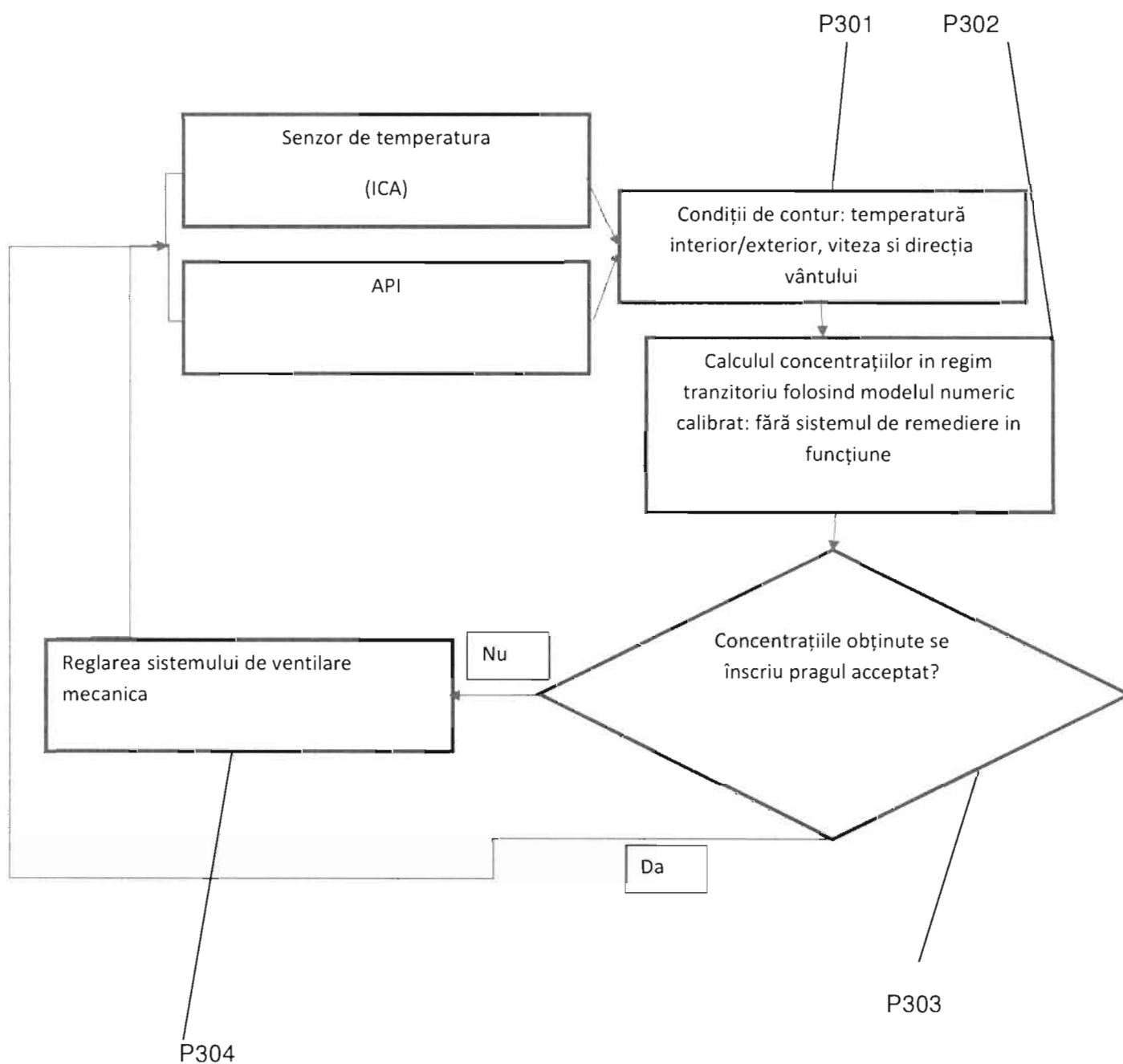


Figura 5 Exemplu preferat de funcționare a sistemului inteligent de determinare și control al concentrației de radon dintr-o locație – precalibrare funcție de calcul

2	Input Parameters		
3	Fluid Flow (Fluent) (A1)		
4	P1	XYPlane.H1	2.5
5	P2	XYPlane.V2	0.15
6	P3	XYPlane.V3	0.5
7	P4	XYPlane.H7	12.65
8	P5	XYPlane.V6	10
9	P6	XYPlane.H5	0.15
10	P7	XYPlane.V4	2.65
11	P25	prem_drain	1E+08
12	P26	prec_dif_dren	0.094
13	P27	perm_placa	1.515E+09
14	P28	proc_dif_placa	0.104
15	P29	perm_sol	1E+12
16	P30	proc_dif_sol	0.396
17	P31	fi	7.791E-21
18	P32	schimburi	0
19	P33	suctiune	-5
20	P34	presiune exterioara	0

Tabel 1. Lista parametrilor

	A	B
1		Enabled
6	P2 - XYPlane.V2	<input type="checkbox"/>
7	P3 - XYPlane.V3	<input type="checkbox"/>
8	P4 - XYPlane.H7	<input type="checkbox"/>
9	P5 - XYPlane.V6	<input type="checkbox"/>
10	P6 - XYPlane.H5	<input type="checkbox"/>
11	P7 - XYPlane.V4	<input type="checkbox"/>
12	P25 - prem_drain	<input type="checkbox"/>
13	P26 - prec_dif_dren	<input type="checkbox"/>
14	P27 - perm_placa	<input checked="" type="checkbox"/>
15	P28 - proc_dif_placa	<input type="checkbox"/>
16	P29 - perm_sol	<input type="checkbox"/>
17	P30 - proc_dif_sol	<input type="checkbox"/>
18	P31 - fi	<input type="checkbox"/>
19	P32 - schimburi	<input checked="" type="checkbox"/>
20	P33 - suctiune	<input type="checkbox"/>
21	P34 - presiune exterioara	<input type="checkbox"/>
22	P35 - concentratie_int	<input type="checkbox"/>
23	P36 - concentratie_int	<input type="checkbox"/>

Tabel 2. Lista parametrilor încerți

86

Figura 5 continuare

Table of Outline A3: Using Points of Design of Experiments							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Name	P27 - perm_placa [m^-2]	P32 - schimburi (m)	P27 - schimburi	P33 - schimburi_usc	P39 - flux placa [kg/s (m)	P40 - concentratie interioara [kg/m3]
2	1	4.8002E+09	0.000225	0.004828	0	0.02287	1.1338
3	2	5.2979E+09	0.000475	0.0046689	0	0.011126	0.52392
4	3	6.7925E+09	0.000725	0.004329	0	0.008828	0.32738
5	4	9.7525E+09	0.000975	0.0039417	0	0.0064270	0.55748
6	5	8.415E+08	0.000775	0.015189	0	0.037923	0.90524
7	6	7.2779E+09	0.000775	0.016276	0	0.02876	0.81506
8	7	5.7925E+09	0.000975	0.0045392	0	0.020226	0.24755
9	8	7.7725E+09	0.000525	0.0043646	0	0.02794	0.42138
10	9	4.5079E+09	0.000825	0.0080204	0	0.033469	0.32273
11	10	2.1179E+09	0.000175	0.011	0	0.073336	1.3128
12	11	8.3679E+09	0.000875	0.0040888	0	0.007928	0.74823
13	12	5.5129E+09	0.000425	0.0052560	0	0.018046	0.44309
14	13	2.3179E+09	2.9E-05	0.0055442	0	0.037028	0.921
15	14	2.8229E+09	0.000325	0.0079484	0	0.023889	1.796
16	15	6.2979E+09	7.9E-05	0.0042136	0	0.009479	2.0886
17	16	8.7625E+09	0.000125	0.0040405	0	0.026837	1.6955
18	17	2.1779E+09	0.000925	0.0080568	0	0.057712	0.498
19	18	2.479E+08	0.000425	0.018901	0	0.11588	2.1105
20	19	5.7079E+09	0.000625	0.0138884	0	0.026481	0.71817

Tabel 3. Rezultatele experimentelor numerice

Table of Schematic B4: Optimization				
	A	B	C	D
1	Optimization Study			
2	Seek P40 = 3.5	Goal, Seek P40 = (Default Importance)		
3	Optimization Method			
4	Screening	The Screening optimization method uses a simple approach based on sampling and sorting. It supports multiple objectives and constraints as well as all types of input parameters. Usually it is used for preliminary design, which may lead you to apply other methods for more refined optimization results.		
5	Configuration	Generate 1000 samples and find 3 candidates.		
6	Status	Converged after 1000 evaluations.		
7	Candidate Points			
8		Candidate Point 1	Candidate Point 2	Candidate Point 3
9	P27 - perm_placa [m^-2]	7.5498E+09	1.7286E+09	3.669E+09
10	P32 - schimburi (m)	6.007E-05	0.00014503	8.8391E-05
11	P40 - concentratie interioara [kg/m3]	★ ★ 3.5344	★ ★ 3.5646	★ ★ 3.4306

Tabel 4. Seturi de valori candidat pentru parametri incerți ai functiei de calcul

Figura 6 Exemplu preferat de funcționare a sistemului inteligent de determinare și control al concentrației de radon dintr-o locație – calibrare funcție de calcul

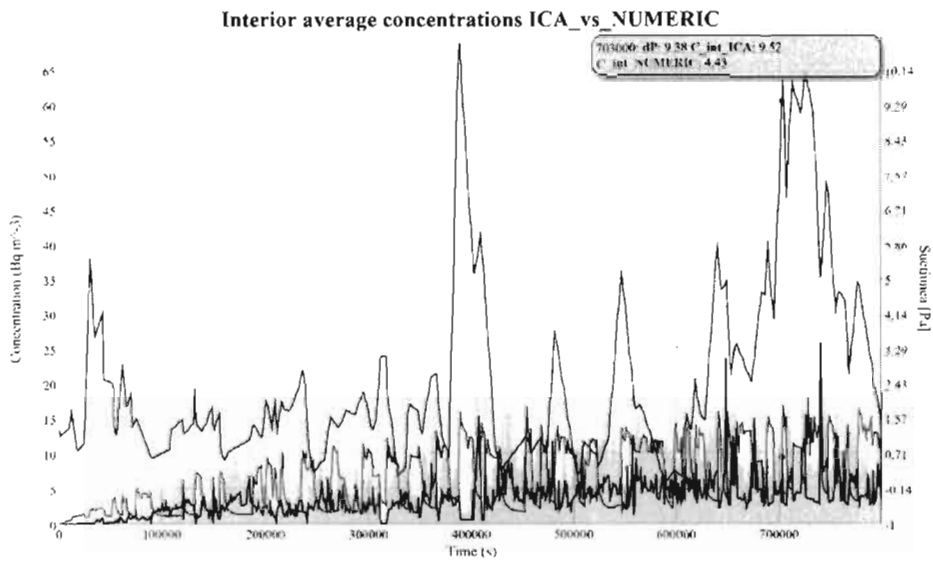


Figura 7 Exemplu preferat de funcționare a sistemului inteligent de determinare și control al concentrației de radon dintr-o locație – verificare funcție de calcul

