

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII
BUCUREȘTI

Facultatea de Inginerie a Instalațiilor
Catedra de Instalații Hidraulice, Termice și Protecția Atmosferei

TEZĂ DE DOCTORAT
REZUMAT

CERCETĂRI EXPERIMENTALE ȘI NUMERICE
ASUPRA SISTEMELOR DE VENTILARE DIN
CLĂDIRILE EDUCATIONALE

Doctorand

Ing. Marian-Andrei ISTRATE

Conducător științific

Conf. Dr. Ing. Tiberiu CATALINA

BUCUREȘTI

2018

Cuvânt înainte

Prezenta teză de doctorat a fost realizată în perioada Septembrie 2014 – Septembrie 2018 în cadrul Universității Tehnice de Construcții București, Facultatea de Inginerie a Instalațiilor, Departamentul de Instalații Hidraulice Termice și Protecția Atmosferei sub atenta îndrumare a domnului Conf. Dr. Ing. Tiberiu CATALINA căruia îi mulțumesc nespus pentru ajutorul acordat, zilele de seară și weekend-urile târzi petrecute în campanii experimentale.

Doresc să mulțumesc pe aceasta cale domnului prof. dr. ing. Sorin BURCHIU, doamnei prof. dr. ing. Iolanda COLDA, domnului prof. dr. ing. Cosmin CHIOREAN, doamnei C.S.1 Alexandra CUCOȘ pentru disponibilitatea de a face parte din comisia de susținere a tezei și pentru timpul acordat analizei acesteia.

Totodata, vreau să mulțumesc tuturor profesorilor din Facultatea de Inginerie a Instalațiilor din cadrul Universității Tehnice de Construcții București pentru învățăturile luate de la aceștia, fără de care astăzi nu aș fi cine sunt, de la fiecare am învățat ceva bun și folositor (profesional și personal).

Mulțumesc Școlii Doctorale pentru sprijinul moral acordat în formarea mea ca cercetător, pe tot parcursul celor patru ani de studiu.

Mulțumesc domnului director Dănuț CARAGAȚĂ de la firma AERECO VENTILAȚIE SRL din București pentru ajutorul acordat prin punerea la dispoziția noastră a grilelor higroreglabile cu scopul testării acestora într-un mediu educațional.

Mulțumesc domnului director Dorin ȘALAMAC și domnului Lucian BULEANDRĂ de la firma ATREA ROMÂNIA SRL din București pentru ajutorul acordat prin punerea la dispoziția noastră a dulapului de ventilare cu recuperator de caldură, cu scopul testării acestora într-un mediu educațional.

Și nu în ultimul rând, vreau să mulțumesc scumpei mele soții, pentru răbdare, încredere, ajutor și iubire acordate pe întreaga perioadă de studiu. Îți mulțumesc.

Cuprins

1	INTRODUCERE	4
1.1	JUSTIFICAREA ABORDĂRII TEMEI	4
1.2	IMPORTANȚA ȘI ACTUALITATEA TEMEI	4
1.3	PROBLEME PRINCIPALE.....	4
1.4	OBIECTIVELE PROPUSE PENTRU REZOLVARE ÎN CADRUL CERCETĂRII.....	5
1.4.1	Titlul tezei.....	5
1.4.2	Scopul cercetării	5
1.4.3	Obiective.....	5
1.5	CALITATEA MEDIULUI INTERIOR, PRINCIPALII PARAMETRII	6
1.5.1	Mediului interior.....	6
1.5.2	Confortul termic	6
1.5.3	Confortul acustic	6
1.5.4	Răcirea evaporativă	6
1.5.5	Calitatea aerului interior	6
1.6	STUDIU BIBLIOGRAFIC	7
1.6.1	Situația actuală	7
2	STUDIU EXPERIMENTAL SISTEME DE VENTILARE	8
2.1	SISTEME DE VENTILARE CU APLICABILITATE ÎN ȘCOLILE EXISTENTE	8
2.1.1	Sisteme de ventilare naturală	8
2.1.2	Sistem de ventilare mecanică.....	8
2.2	STUDIU DE CAZ, STAND EXPERIMENTAL 1 – GRILE HIGROREGRABILE + VENTILATOR REVERSIBIL + GRILE DE TRANSFER 10	
2.2.1	Campanie experimentală	10
2.3	STUDIU DE CAZ, STAND EXPERIMENTAL 2 – RĂCITOR EVAPORATIV + BATERIE ELECTRICĂ	23
2.3.1	Campanie experimentală 1	23
2.3.2	Campanie experimentală 2	31
2.4	STUDIU DE CAZ, STAND EXPERIMENTAL 3 – RECUPERATOR DE CĂLDURĂ TIP DULAP	34
2.4.1	Campanie experimentală	34
2.5	ANALIZĂ ECONOMICO-FINANCIARĂ.....	53
2.5.1	Caracteristici ipotetice de calcul.....	53
2.5.2	Tipuri de sisteme evaluate.....	53
2.5.3	Tabele centralizatoare cu rezultate obținute	53
2.5.4	Studiu comparativ amortizare investiție	54
2.5.5	Concluzii:	56
3	SIMULARE NUMERICĂ SISTEME DE VENTILARE	58
3.1	MODEL GEOMETRIC	58
3.2	TIPURI DE SISTEME DE VENTILARE SIMULATE NUMERIC.....	58
3.2.1	Ventilare naturală	58
3.2.2	Grile higroreglabile.....	64
3.2.3	Ventilator de fereastră	65
3.2.4	Ventilator de fereastră cu baterie electrică.....	67
3.2.5	Recuperator de căldură tip dulap.....	68
4	CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE, DISEMINARE REZULTATE.....	71
4.1	CONCLUZII GENERALE	71
4.1.1	Ventilare naturală	71
4.1.2	Răcitor evaporativ + baterie electrică de încălzire	72
4.1.3	Ventilator reversibil + grilă de transfer.....	72
4.1.4	Grile higroreglabile + grilă de transfer	73
4.1.5	Sistem de ventilare descentralizat tip dulap, cu recuperare de căldură.....	74
4.2	CONTRIBUTII PERSONALE.....	74
4.3	DISEMINARE REZULTATE.....	75
5	BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	77

1 INTRODUCERE

1.1 Justificarea abordării temei

Elevii își petrec o bună parte a timpului lor în sala de clasă (aproximativ 25%), fapt pentru care, sălilor de clasă trebuie să li se acorde o foarte mare importanță, fiind considerate ca un al doilea cămin. Gradul de ocupare al sălilor de clasă este foarte ridicat, sunt cele mai aglomerate în comparație cu oricare altă clădire din lume, fapt pentru care este vital ca, climatul interior să nu afecteze confortul, sănătatea sau performanța ocupanților.

Prin prezenta teză de doctorat, doresc să aprofundez în aceasta temă și să recomand cea mai bună soluție pentru a crea un mediu cât mai sănătos de lucru în instituțiile educaționale atât generației noastre precum și a următoarelor. Deoarece sunt o persoană preponderent practică, am avut ocazia să instalăm și să testăm mai multe sisteme de ventilare. Aceste sisteme au fost instalate în două instituții de învățământ din București (Liceul Anghel Saligny și Colegiul Mihai Viteazul). Acestea sisteme instalate au scop experimental în actuala teză dar și rolul de a îmbunătăți calitatea aerului și implicit performanțele ocupanților, fiind instalate în sălile de clasă. Sunt tratate atât aspecte teoretice cât și practice. Sistemele de asigurare a calității aerului vor fi lăsate cu titlu gratuit instituțiilor unde au fost montate.

1.2 Importanța și actualitatea temei

Elevii își petrec o mare parte din timpul lor în sălile de clasă. Școlile au cel mai mare grad de ocupare comparativ cu oricare altă clădire. În peste 90% dintre cazuri nu există un sistem de ventilare care să asigure calitatea aerului în sălile de clasă. Este vital să existe un climat interior care să nu afecteze confortul, sănătatea sau performanța intelectuală a elevilor. Concentrația de CO₂ depășește în majoritatea cazurilor limita recomandată de ASHRAE, aceea de a fi menținută sau mai jos de 1000ppm.

Găsirea unui sistem care să rezolve problemele calității aerului în școli, precum și problemele de disconfort termic în sezonul estival este crucială.

1.3 Probleme principale

Calitatea aerului interior în școli nu poate fi asigurată în mod corect decât prin implementarea unor sisteme de ventilare mecanică adecvate, cu debite de aer suficient de ridicate pentru a menține concentrațiile interioare de CO₂, umiditate și microbi aeropurtați la niveluri scăzute.

1.4 Obiectivele propuse pentru rezolvare în cadrul cercetării

1.4.1 Titlul tezei

Lucrarea de față se intitulează “**Cercetări experimentale și numerice asupra sistemelor de ventilare din instituțiile educaționale**”.

1.4.2 Scopul cercetării

Scopul cercetării este acela de a analiza (numeric și experimental), implementa și testa cât mai multe sisteme de ventilare care se pretează pentru instituțiile educaționale existente, cu acțiuni invazive cât mai reduse asupra construcțiilor educaționale, cu performanțe energetice și de calitate a mediului interior cât mai ridicate, plus costuri de instalare și exploatare cât mai reduse. Mai apoi, aceste soluții vor fi propuse către autorități cu scopul implementării acestora la nivel național.

1.4.3 Obiective

Obiectivele principale propuse pentru rezolvare în cadrul cercetării sunt următoarele:

- Analiza mai multor sisteme de ventilare cu aplicabilitate în instituțiile de învățământ.
- Definirea clară a performanțelor necesare fiecărui sistem în parte.
- Definirea clară a problemelor pentru fiecare tip de sistem în parte.
- Propunerea unei soluții de îmbunătățire a calității aerului în clădirile educaționale.
- Modelare numerică, performanțe energetice pentru fiecare tip de sistem în parte.
- Validarea soluțiilor pe unul sau mai multe standuri experimentale în care se vor aplica soluțiile de îmbunătățire a performanțelor definite în prealabil.
- Analiza de protecție la zgomot a ocupanților.
- Calcul economico-financiar.

1.5 Calitatea mediului interior, principalii parametri

1.5.1 Mediului interior

Mediul interior, factor determinant în ceea ce privește sănătatea și starea de bine a ocupanților unei clădiri, este determinată de compoziția aerului (cu referire la poluanții chimici, fizici, biologici sau de altă natură) și de confort (cu principalele componente, acustic, termic, vizual).

1.5.2 Confortul termic

Confortul termic este definit de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers) ca fiind senzația generală de satisfacție a persoanelor față de mediul ambiant. Menținerea confortului termic pentru ocupanții unei clădiri este o cerință obligatorie care trebuie avută în vedere încă de la faza de proiectare a acesteia.

1.5.3 Confortul acustic

Pentru a menține un confort termic și un IAQ corespunzător, sălilor de clasă le trebuie asigurate cele mai bune medii de învățare pentru ocupanți din punct de vedere performanță acustică. Acestui tip de confort îi trebuie adresată o atenție sporită deoarece procesul de predare-învățare implică o comunicare intensivă între profesor și elevi, motiv pentru care mediul trebuie să fie adecvat procesului

1.5.4 Răcirea evaporativă

1.5.4.1 Introducere

Răcirea evaporativă (Răcirea adiabatică) se definește ca fiind procesul prin care căldura din aer este absorbită datorită fenomenului de evaporare a apei. Atunci când apa se evaporă, absoarbe o cantitate de energie din mediu, având ca rezultat principal scăderea temperaturii. Întregul proces de răcire (adiabatică) se realizează la entalpie constantă ($h=ct.$ [kJ/kg]).

1.5.5 Calitatea aerului interior

Cele mai multe persoane sunt conștiente de faptul că poluarea din aerul exterior le poate afecta sănătatea, însă aerul interior poate fi mult mai nociv decât cel exterior. Diverse studii au arătat că poluarea aflată în interiorul încăperilor poate fi de două până la cinci ori mai mare decât poluarea din aerul exterior și ocazional poate atinge cote alarmante cu valori de până la o sută de ori mai mare decât cea a aerului exterior (EPA 2009). Această problemă se definește ca fiind primordială în sectorul instituțiilor de învățământ.

1.6 Studiu bibliografic

1.6.1 Situația actuală

- A. Toate studiile analizate descriu faptul că cel mai bun indicator pentru a controla calitatea mediului interior în instituțiile educaționale este concentrația interioară de CO₂ și fără un sistem de ventilare mecanică nu se poate menține limita recomandată de ASHRAE, de a fi menținută la o valoare limită de 1000ppm.
- B. Din analiza făcută asupra grilelor pasive s-a remarcat o diferență semnificativă între performanțele date de producător și cele obținute în laborator conform standardului. O bună parte dintre acestea au avut o abatere de peste 20% față de valoarea reală. Acest tip de sistem de ventilare este recomandat ca un compromis între o bună calitate a aerului interior și cost, economie de energie.
- C. În acest studiu s-au comparat rezultatele obținute pe cale experimentală cu cele obținute prin aplicarea formulelor de calcul. Formulele utilizate au fost validate de măsurări experimentale. În concluzie, aceste formule se pot utiliza pentru calculul și dimensionarea instalațiilor de ventilare.
- D. Concluzia principală a testării sistemului de ventilare prin deplasare este aceea că are numai avantaje și poate fi folosită cu precădere în instituțiile educaționale. Acest tip de sistem de ventilare are o eficiență energetică ridicată prin prisma faptului că temperatura aerului introdus este mai ridicată, că nu mai există mixajul aerului curat cu cel poluat (cel poluat este aspirat pe la partea superioară), în întreaga încăpere avem aproximativ aceiași parametrii, confortul termic și acustic sunt semnificativ îmbunătățite deoarece viteza aerului la ieșirea din grilă este mai mică.
- E. În urma testării ventilării cu intermitență s-au obținut rezultate semnificativ îmbunătățite resimțite de corpul omenesc. Elevi care au fost în sala de clasă unde a funcționat sistemul de ventilare cu intermitență au resimțit aerul interior mai proaspăt și mai rece (fără curenți de aer care să-i deranjeze) în comparație cu elevii care au fost în sala cu ventilare constantă la viteze scăzute.
- F. În ceea ce privește analiza corelării concentrației de CO₂ cu temperatura interioară și umiditatea relativă în patru școli primare din Serbia a reieșit că concentrația de CO₂ are o influență foarte ridicată asupra calității aerului interior. În școlile cu ventilație naturală, indiferent de anul construcției, există o problemă foarte mare a calității aerului interior din lipsa aerului proaspăt necesar ventilării ajungând la concentrații interioare de CO₂ de până la **4800 ppm**, ceea ce indică o calitate foarte slabă a aerului interior. Pauzele dintre orele de curs sunt prea scurte și nu sunt suficiente pentru a ventila întreaga încăpere, ba mai mult, în timpul acestor pauze o parte din elevi nu părăsesc sala de clasă și generarea de CO₂ continuă. Nevoia de management și control a aerului proaspăt în instituțiile educaționale este o necesitate importantă și trebuie implementată la nivel internațional, nu ar trebuie să existe școli fără ca în interiorul acestora să nu existe sisteme de ventilare mecanică care să asigure calitatea mediului interior la un nivel optim.

2 STUDIU EXPERIMENTAL SISTEME DE VENTILARE

2.1 Sisteme de ventilare cu aplicabilitate în școlile existente

2.1.1 Sisteme de ventilare naturală

2.1.1.1 Ventilarea naturală prin deschiderea ferestrelor

Pentru a asigura un mediu de lucru sănătos în clasă, este nevoie de ventilare, indiferent că este naturală sau mecanică. Conform regulamentului intern al fiecărei școli din România, este obligatorie deschiderea ferestrelor în pauzele dintre orele de curs cu scopul de a aerisi încăperea și de a aduce un aport de aer proaspăt și curat elevilor.

2.1.1.2 Grile higroreglabile + grile de transfer

Grile higroreglabile: sunt confecționate din materiale plastice de diverse culori adaptabile funcție de culoarea ferestrei și un material higroscopic cu rolul de a acționa lamela de închidere/deschidere cu scopul de a lăsa aerul proapat să intre în încăperea (controlează debitul de aer proaspăt în funcție de valorile interioare ale umidității relative).

Grile de transfer: sunt confecționate din aluminiu sau plastic pentru montarea în uși sau pereți, cu grosimea cuprinsă între 32 și 60mm. Se utilizează pentru distribuirea aerului între 2 încăperi. Constructiv sunt alcătuite din lamele fixe în forma de V, fără vizibilitate în partea opusă. Fixarea se face cu șuruburi vizibile cu contraramă.

2.1.2 Sistem de ventilare mecanică

2.1.2.1 Ventilator reversibil + grile de transfer

Ventilatorul reversibil: este un ventilator de tip montaj în fereastră sau perete proiectat special pentru locuri precum baruri, restaurante, birouri, bucătării, fabrici, școli și magazine, acolo unde este necesar un montaj cu efecte invazive minime (înlocuire sticlă fereastră cu un panel). Carcasa acestuia este de culoare albă cu un dipozitiv integrat de protecție pentru clapetă și motor, carcasa exterioară cu rol antiplăoie și design plăcut. Motorul acestuia este reversibil cu două viteze, pentru introducerea aerului și pentru evacuarea acestuia. Acestuia i se pot atașa diverse accesorii de pornire (termostat, controller, umidostat, senzor prezență persoane...etc).

Grile de transfer: sunt confecționate din aluminiu pentru montarea în uși sau pereți, cu grosimea cuprinsă între 32 și 60mm. Se utilizează pentru distribuirea aerului între 2 încăperi. Finisajul este aluminiu natural anodizat. Constructiv sunt alcătuite din lamele fixe în forma de V, fără vizibilitate în partea opusă. Fixarea se face cu șuruburi vizibile cu contraramă.

2.1.2.2 Grile higroreglabile + ventilator reversibil + grile de transfer

Această soluție a rezultat prin îmbinarea unor soluții mai simple cu scopul de a beneficia de toate avantajele lor individuale într-una singură.

Grile higroreglabile: sunt confecționate din materiale plastice de diverse culori și mărimi, care sunt adaptabile funcție de culoarea ferestrei și un material higroscopic cu rolul de a acționa lamela de închidere/deschidere cu scopul de a lăsa aerul proapat să

între în încăperea (controlează debitul de aer proaspăt în funcție de valorile interioare ale umidității relative).

Ventilatorul reversibil: este un ventilator de tip montaj în fereastră sau perete, proiectat special pentru locuri precum baruri, restaurante, birouri, bucătării, fabrici, școli și magazine, acolo unde este necesar un montaj cu efecte invazive minime (înlocuire sticlă fereastră cu un panel). Carcasa acestuia este de culoare albă cu un dispozitiv integrat de protecție pentru clapetă și motor, carcasa exterioară cu rol antiploaie și design plăcut. Ventilatorul este dotat cu un motor reversibil, pentru introducerea aerului sau pentru evacuarea lui. Acestuia i se pot atașa diverse accesorii de pornire și control (termostat, controller, umidostat, senzor prezență persoane...etc).

Grile de transfer: sunt confecționate din aluminiu pentru montarea în uși sau pereți, cu grosimea cuprinsă între 32 și 60 mm. Se utilizează pentru distribuirea aerului între două încăperi. Finisajul este aluminiu natural anodizat. Constructiv sunt alcătuite din lamele fixe în formă de V, fără vizibilitate în partea opusă. Fixarea se face cu șuruburi vizibile cu contraramă.

2.1.2.3 Răcitor evaporativ + baterie electrică

Răcitor evaporativ: este un ansamblu cu rolul de a răci aerul prin umidificarea acestuia, acest proces de umidificare se realizează cu absorbție de căldură. Din punct de vedere constructiv este o structură monobloc compusă din cadru metalic, bazin de apă, flotor pentru menținerea nivelului de apă în bazin, robinet de drenaj pentru împropățare și golire bazin, pompă de apă cu rolul de a umidifica fagurii, faguri din hârtie cerată cu rolul de a filtra grosier aerul și de a-l răci, ventilator centrifugal cu pale înainte cu rolul de a vehicula aerul.

Baterie electrică: este de secțiune circulară, cu rolul de a încălzi aerul care trece prin acesta până la o valoare prestabilită. Din punct de vedere constructiv carcasa exterioară este din tablă zincată de formă circulară în interiorul căreia se află elementul sensibil de încălzire electrică. Comanda este situată la partea superioară într-o cutie de borne în care se află un pulser încorporat pentru un control proporțional, cu punct de setare extern al temperaturii. Temperatura poate fi reglată cu ajutorul unui senzor extern situat fie în tubulatură, fie în încăperea. Temperatura maximă a aerului la ieșire are valoare de 50°C, viteza minimă necesară funcționării corecte este de 1.5m/s. Se poate utiliza pentru: preîncălzire, încălzire zonală, reîncălzire, temperatura constantă a aerului introdus. Deoarece este un element cu un risc ridicat de incendiu, aceste baterii sunt dotate cu protecție.

2.1.2.4 Recuperator de căldură tip tablou

Recuperatorul de căldură tip tablou este alcătuit din două ansamble paralelipipedice cu rolul de a susține în interior motorul electric + ventilatorul de introducere respectiv de evacuare și la exterior având rol de grilă de introducere respectiv evacuare a aerului. Legătura între cele două elemente se face cu un element cilindric cu rol de legătură respectiv recuperator de căldură din aluminiu. Aerul viciat cald/rece este aspirat de ventilatorul intern, filtrat și refulat în schimbătorul de căldură, apoi ajunge în

mediul exterior. Aerul proaspăt este aspirat de ventilatorul extern, filtrat și refulat în schimbătorul de căldură, apoi ajunge în mediul interior îmbogățind aerul interior.

2.1.2.5 Recuperator de căldură tip dulap

Recuperatorul de căldură de tip dulap are forma unui dulap (în picioare, lipit de perete, pe pardoseală) și este un ansamblu constituit dintr-o carcasă cu auto-susținere confecționată din oțel galvanizat și panouri termoizolante confecționate din tablă galvanizată la interior și din tablă neagră vopsită în câmp electrostatic la exterior, iar între acestea este vată minerală bazaltică cu densitate ridicată. În interiorul carcasei regăsim: ventilatoarele centrifugale (introducere și aspirație aer din încăpere), schimbătorul de căldură în plăci cu flux încrucișat din aluminiu, filtre de aer grosiere și fine (G4 și F7, cu rol de a proteja echipamentul și a curăța aerul introdus de particule mari de praf în suspensie).

2.1.2.6 Recuperator de căldură tip consolă

Recuperatorul de căldură de tip consolă are forma unui dulap ieșit în consolă (culcat, lipit de perete, la nivelul tavanului) și este un ansamblu constituit dintr-o carcasă cu auto-susținere confecționată din oțel galvanizat și panouri termoizolante confecționate din tablă galvanizată la interior și din tablă neagră vopsită în câmp electrostatic la exterior, iar între acestea este vată minerală bazaltică cu densitate ridicată. În interiorul carcasei regăsim: ventilatoarele centrifugale (introducere și aspirație aer din încăpere), schimbătorul de căldură în plăci cu flux încrucișat din aluminiu, filtre de aer grosiere și fine (G4 și F7, cu rol de a proteja echipamentul și a curăța aerul introdus de particule mari de praf în suspensie).

2.2 Studiu de caz, stand experimental 1 – grile higroregrabile + ventilator reversibil + grile de transfer

2.2.1 Campanie experimentală

2.2.1.1 Schema de principiu

A. Descriere sistem de ventilare

Sistemul de ventilare principal este un ansamblu constituit dintr-un ventilator reversibil (poate introduce sau evacua aer din sala de curs) de tip axial, montat în partea superioară a ferestrei din fața sălii de curs, aerul poate fi introdus sau evacuat prin acesta. În partea inferioară a ușilor intrării în sala de curs, situate în spatele sălii de clasă în diagonală cu ventilatorul sunt montate grile de transfer cu scopul de a lăsa aerul viciat să iasă din clasă sau de a intra aer mai curat de pe coridor. Debitul maxim de aer introdus de ventilator este de 600 de m³/h. Ventilatorul este dotat și cu o clapetă de închidere automată, atunci când ventilatorul nu este pornit grila se va închide. Atât ventilatorul cât și grilele de transfer sunt vopsite la culoarea tâmplăriei (maro), cu scopul de a nu ieși în evidență și de a nu strica aspectul sălii de curs. Introducerea aerului proaspăt în sala de curs se face prin intermediul unei grile cu dublă deflexie, aceasta din urmă având rolul de a putea controla și dirija aerul atât în plan orizontal cât și în plan vertical cu scopul de a

nu deranja ocupanții săli de curs. Reducerea zgomotului s-a făcut cu ajutorul unui atenuator de zgomot special conceput și creat pentru acest tip de ventilator, respectiv această sală de clasă. Reducerea de zgomot a fost satisfăcătoare. În interiorul sălii de curs este un zgomot sub limita impusă de norme.

Sistemul de ventilare secundar este constituit din grile higroreglabile montate în partea superioară a ramei tâmplăriei din lemn a ferestrelor. Pe fiecare fereastră în parte, s-au montat două grile cu un debit maxim de 50 m³/h rezultând un debit total maxim pe sală de clasă de 300 m³/h. Acest tip de sistem de ventilare nu are consum de energie și nu necesită mentenanță. Fiecare grilă în parte este dotată cu un mâner de acționare în care se poate seta poziția de închis, deschis sau de funcționare automată. Funcționare automată înseamnă deschiderea și închiderea grilei în funcție de umiditatea din interiorul său. Atunci când elevii vor intra în sală, umiditatea relativă va crește, respectiv grila se va deschide pentru a permite aerului proaspăt să intre în încăpere, pe măsură ce aceștia părăsesc sala de curs, umiditatea scade respectiv grilele se vor închide astfel încât să mențină o umiditate medie presetată în plaja de lucru.

Particularitatea principală a acestui tip de sistem hibrid ventilator plus grile higroreglabile este aceea că în timpul iernii atunci când temperaturile exterioare sunt foarte scăzute se poate folosi ventilatorul în sensul de evacuare a aerului viciat din sala de curs, introducerea aerului proaspăt făcându-se prin grilele higroreglabile respectiv din coridorul școlii. În sezonul primăvară-toamnă atunci când temperaturile sunt mai calde se poate folosi cu succes introducerea aerului proaspăt din exterior.

B. Descriere sistem de monitorizare și control

Acesta este alcătuit dintr-un ansamblu de elemente electronice cu scopul de a măsura, monitoriza, afișa, controla și comanda sistemul de ventilare. Sunt combinate trei elemente principale distincte legate între o cutie de conexiuni: telecomanda, înregistratorul și programatorul de timp. Telecomanda are rolul de a opri și porni sistemul, de a selecta modul de funcționare al ventilatorului acela de a introduce sau de a evacua aer din sala de clasă. Acesta este dotat cu un buton care este reglează 5 trepte de turație a ventilatorului. Confirmarea funcționării telecomenzii se face printr-un led roșu aprins. Înregistratorul are rolul de a monitoriza, afișa, comanda ventilatorul în funcție de nivelul dioxidului de carbon din interior. Acesta înregistrează principalii parametri a calității aerului și anume: temperatură, umiditatea relativă și dioxidul de carbon. Putem vizualiza acești parametri pe display-ul acestuia. Prezența funcționării sistemului se face printr-un led aprins de culoare verde. Programatorul de timp ne ajută pentru a crea diferite strategii de ventilare, în funcție de un program de timp bine definit și stabilit în corelație cu orele susținute de elevi sau poate fi programat să funcționeze numai în recreație. Aproape orice configurație de programare este posibilă. Programul de timp este redat de display-ul atașat programatorului, funcționarea acestuia se face prin ledul roșu aprins. Toate elementele de măsură și control descrise anterior sunt interconectate prin intermediul unei cutii de legături în interiorul căreia regăsim partea de electrică și de electronică .

C. Descriere instalație de iluminat

Instalația de iluminare este alcătuită din 9 corpuri cu led montate aparent la nivelul tavanului împărțite simetric pe întreaga suprafață a plafonului. Lungimea corpului de iluminat este 1.2 m. Caracteristicile fiecărei lămpi în parte sunt: putere electrică 43W, fluxul luminos 4.400 lumeni, temperatura de culoare 4000 Kelvin și un indice de redare a culorii de CRI80. Acestea asigură un grad de iluminare la nivelul planului util de 550 lux.

D. Schema de principiu

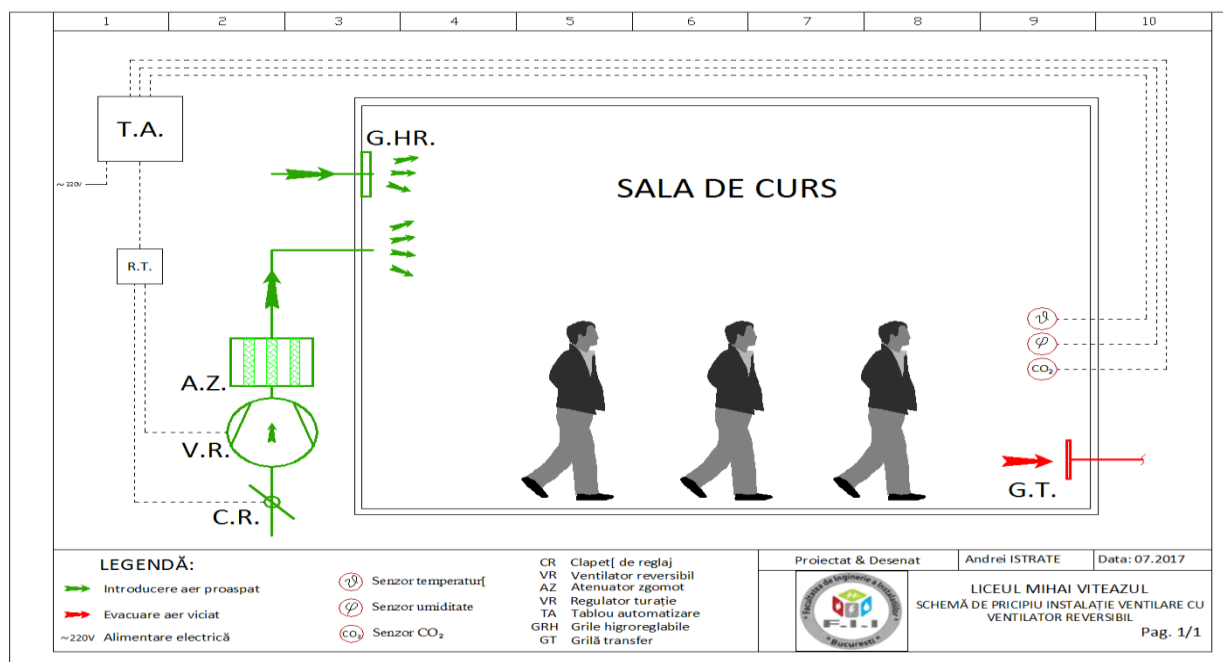


Fig.1 Schemă de principiu instalație de ventilare hibridă

2.2.1.2 Reprezentare sală de clasă

A. Descriere

Sala de clasă studiată este situată în Colegiul Național Mihai Viteazul din Sectorul 2, București, unul dintre cele mai renumite licee. Sala de curs este situată la etajul 1, în mijlocul clădirii, cu orientarea ferestrelor spre latura vestică.

B. Plan

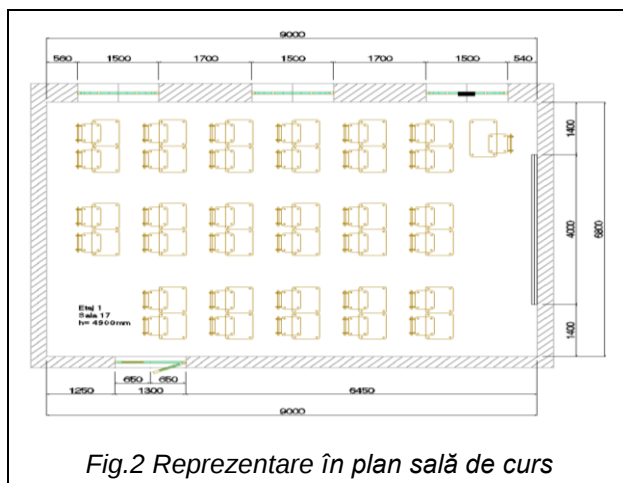


Fig.2 Reprezentare în plan sală de curs

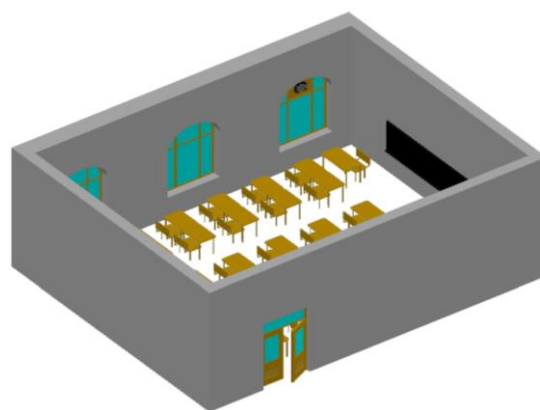


Fig.3 Reprezentare 3D a sălii de curs

2.2.1.3 Rezultat final montare sistem

A. Descriere

Sistemul de ventilare este un ansamblu constituit dintr-un ventilator reversibil (poate introduce sau evacuează aer din sala de curs) de tip axial, montat în partea superioară a ferestrei din fața sălii de curs, aerul poate fi introdus sau evacuat prin acesta. În partea inferioară a ușilor intrării în sala de curs, situate în spatele sălii de clasă în diagonală cu ventilatorul sunt montate grile de transfer cu scopul de a lăsa aerul viciat să iasă din clasă sau de a intra aer mai curat de pe coridor. Reducerea zgomotului s-a făcut cu ajutorul unui atenuator de zgomot special conceput și creat pentru acest tip de ventilator, respectiv această sală de clasă. Reducerea de zgomot a fost satisfăcătoare. În interiorul sălii de curs este un zgomot sub limita impusă de norme. Sistemul de ventilare secundar este constituit din grile higroreglabile montate în partea superioară a ramei tâmplăriei din lemn a ferestrelor. Pe fiecare fereastră în parte, s-au montat două grile. Acest tip de sistem de ventilare nu are consum de energie și nu necesită mentenanță.

B. Imagini reprezentative



Fig.4 Reprezentare finală montaj sistem

2.2.1.4 Rezultate măsurări

A. Debite de aer introdus și evacuat

DEBITE DE AER SALA 1.17			
INTRODUS		EVACUAT	
Treapta	m ³ /h	Treapta	m ³ /h
1	423	1	305
2	460	2	310
3	500	3	330
4	535	4	350
5	600	5	360

B. Zgomot și timp de reverberație

MĂSURĂRI DE ZGOMOT (aer introdus)					
FĂRĂ ATENUATOR			CU ATENUATOR		
Treapta	Lech dB	L dB(A)	Treapta	Lech dB	L dB(A)
1	39,9	44,6	1	39,2	33,1
3	47,1	42,2	3	43,4	36,2
5	53,2	47,7	5	48,6	39,9

MĂSURĂRI TIMP DE REVERBERATIE (aer introdus)			
Fără panori fonoabsorbante		Cu panori fonoabsorbante	
1,99	sec	0,78	sec

C. Nivel de iluminare

MĂSURĂRI NIVEL DE ILUMINARE (la nivelul șezutului de scaun, cca. 500 mm de la pardoseală)			
Sală cu corpuri de iluminat standard		Sală cu corpuri de iluminat cu led	
347	lux	540	lux

D. Temperatura, umiditate, CO₂, PMV, PPD

a) Campanie măsurări IAQ fără ventilare în ambele săli:

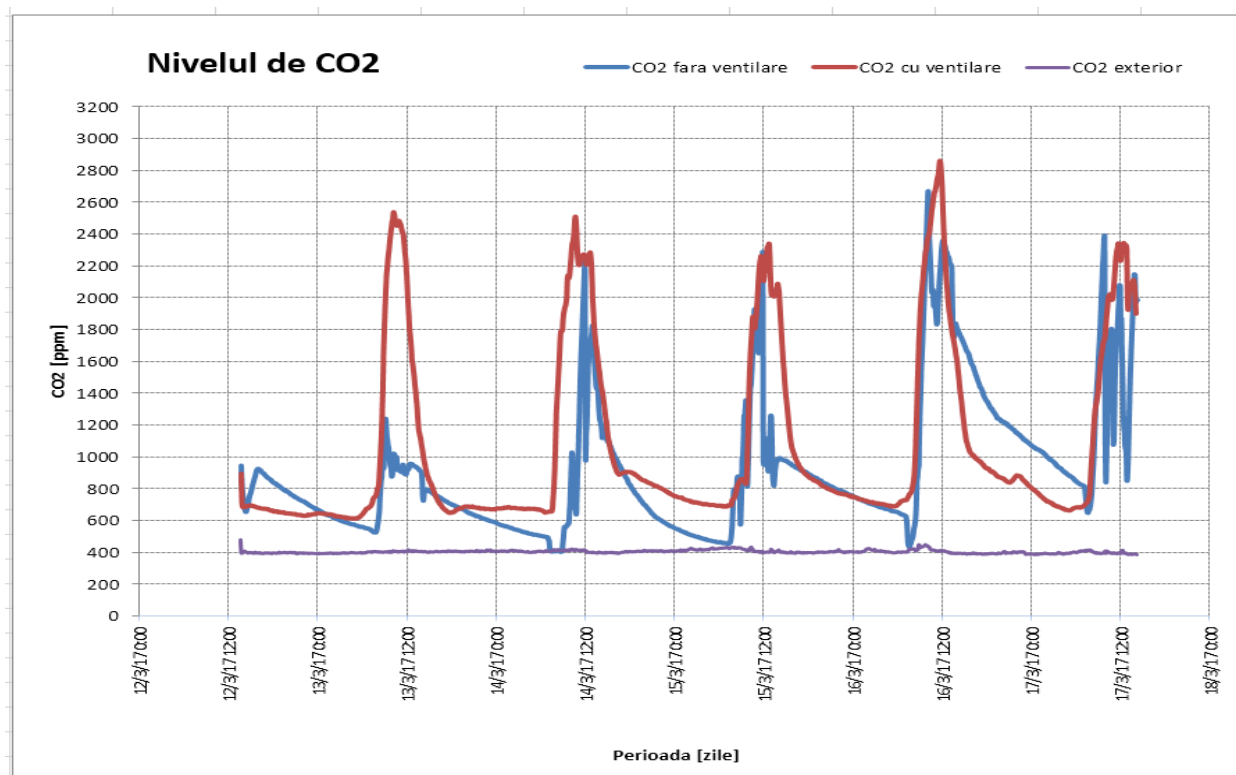


Fig.5 Distribuție CO₂ fără ventilare în ambele săli

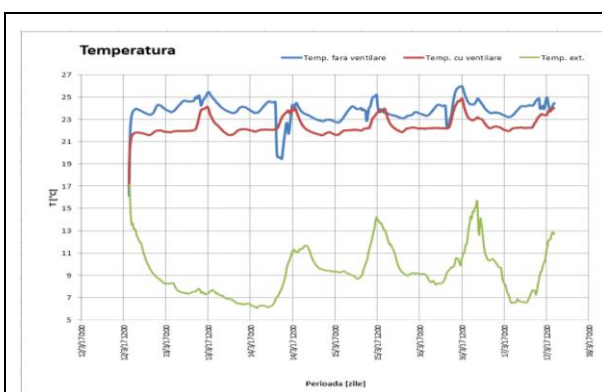


Fig.6 Distribuție temperatură fără ventilare în ambele săli

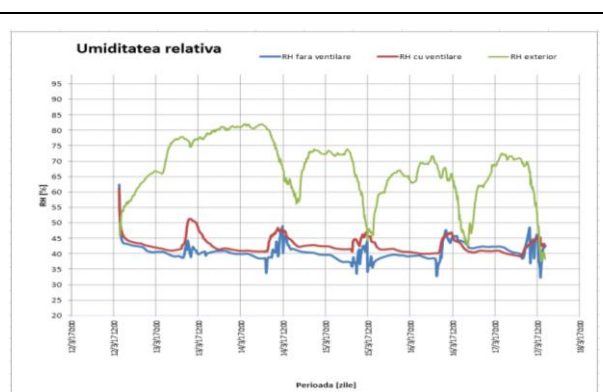


Fig.7 Distribuție umiditate relativă fără ventilare în ambele săli

b) Campanie măsurări IAQ – grilele higroreglabile:

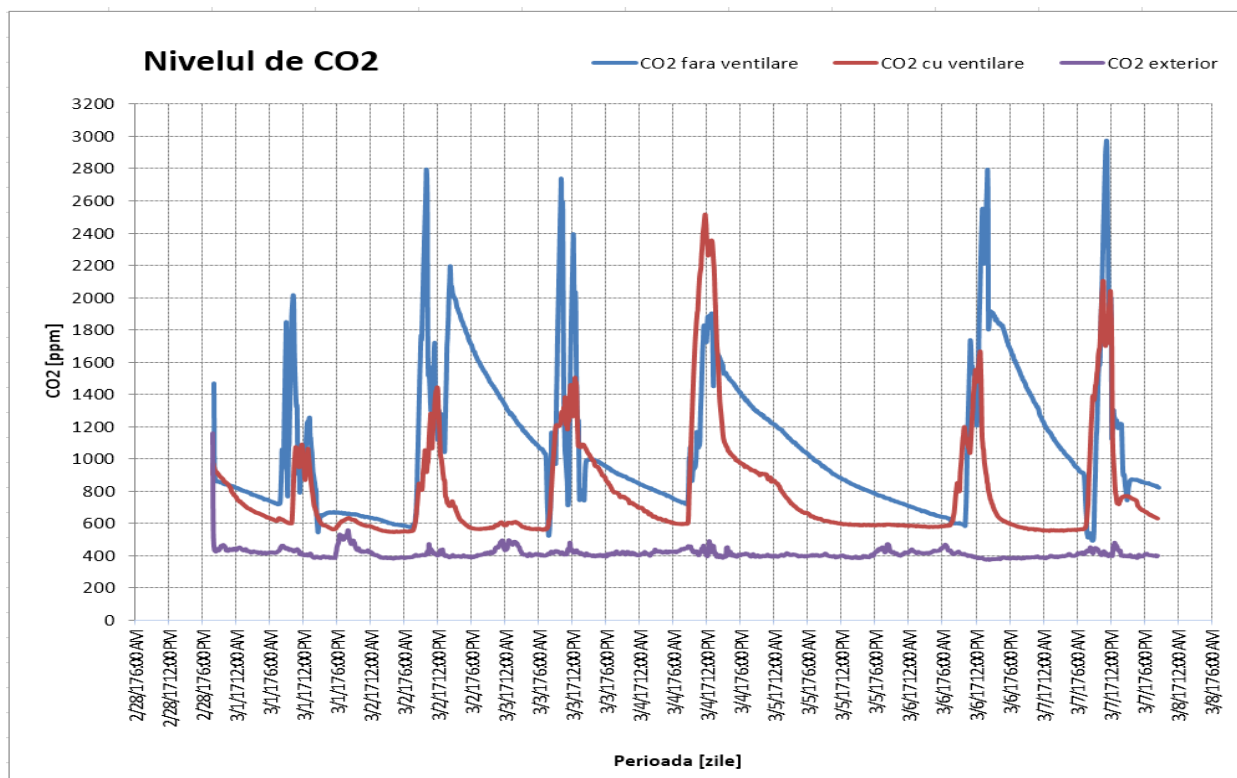


Fig.8 Distribuție CO2 cu grile higroreglabile în sala cu sistem de ventilare și fără în sala vecină

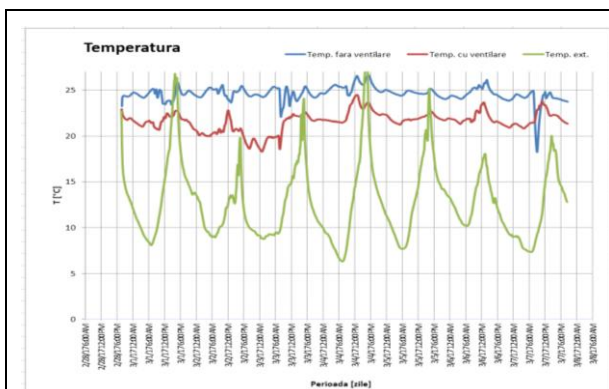


Fig.9 Distribuție temp. cu grile higroreglabile în sala cu sistem de ventilare și fără în sala vecină

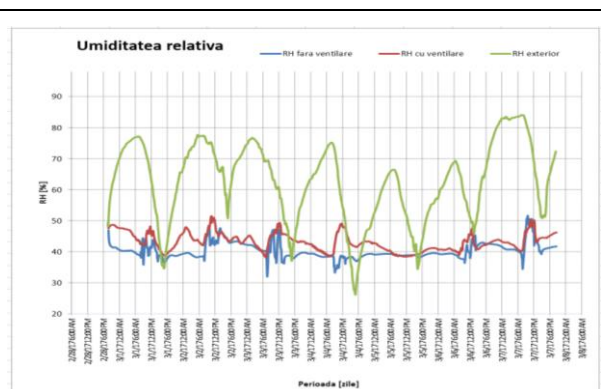


Fig.10 Distribuție umid. rel. cu grile higroreglabile în sala cu sistem de ventilare și fără în sala vecină

c) Campanie măsurări IAQ – ventilator, introducere, $Q = 450 \text{ m}^3/\text{h}$:

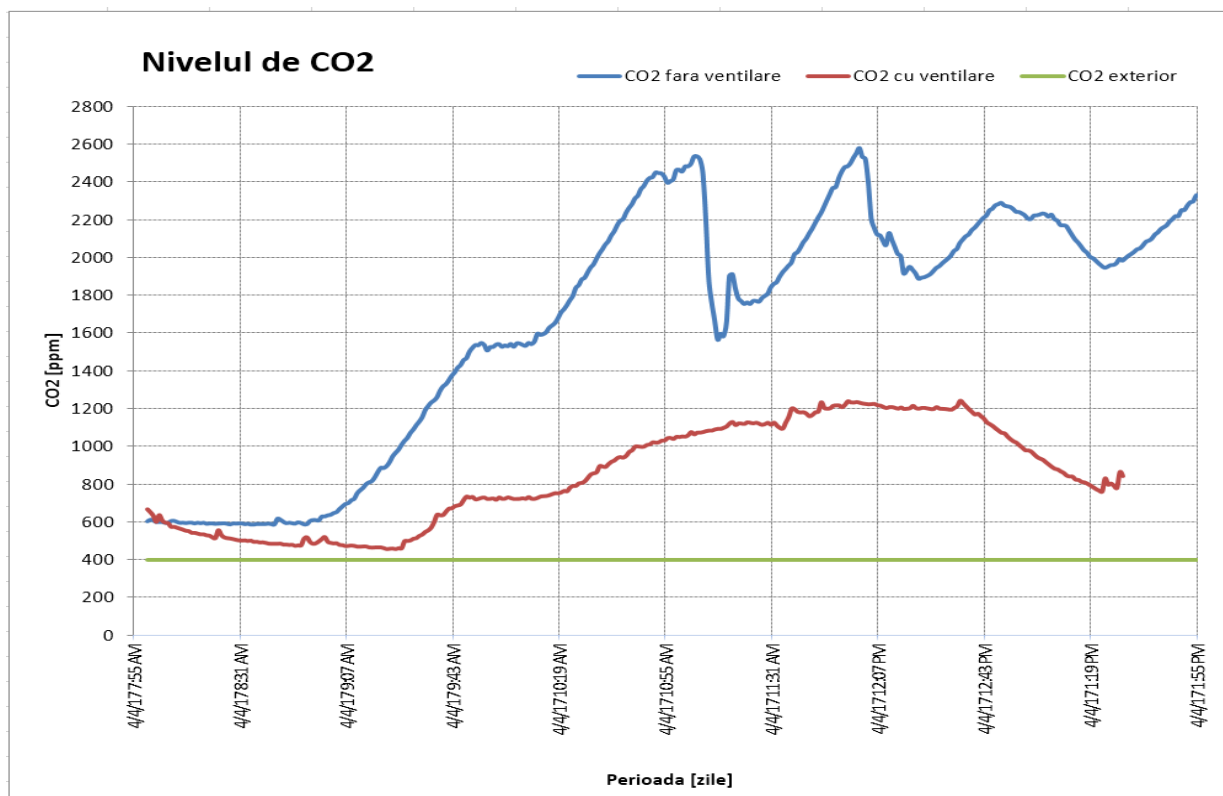


Fig.11 Distribuție CO2 cu ventilator introducere în sală cu sistem de ventilare și fără în sala vecină

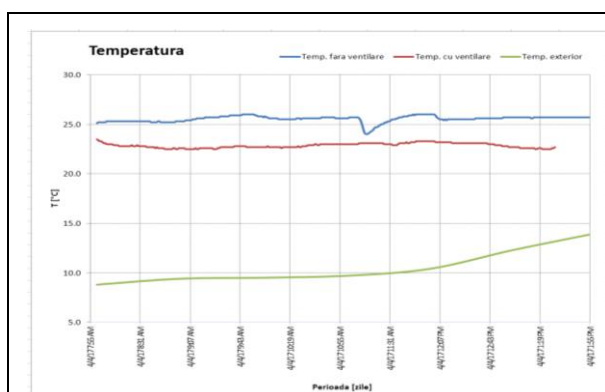


Fig.12 Distribuție temp. cu ventilator introducere în sala cu sistem de ventilare și fără în sala vecină

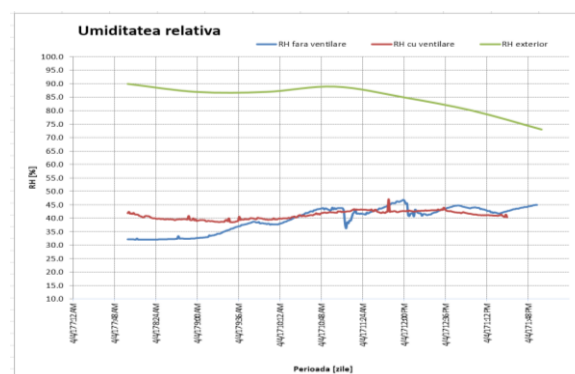


Fig.13 Distribuție umid. rel. cu ventilator introducere în sala cu sistem de ventilare și fără în sala vecină

d) Analiza confortului interior pentru sala fără sistem de ventilare

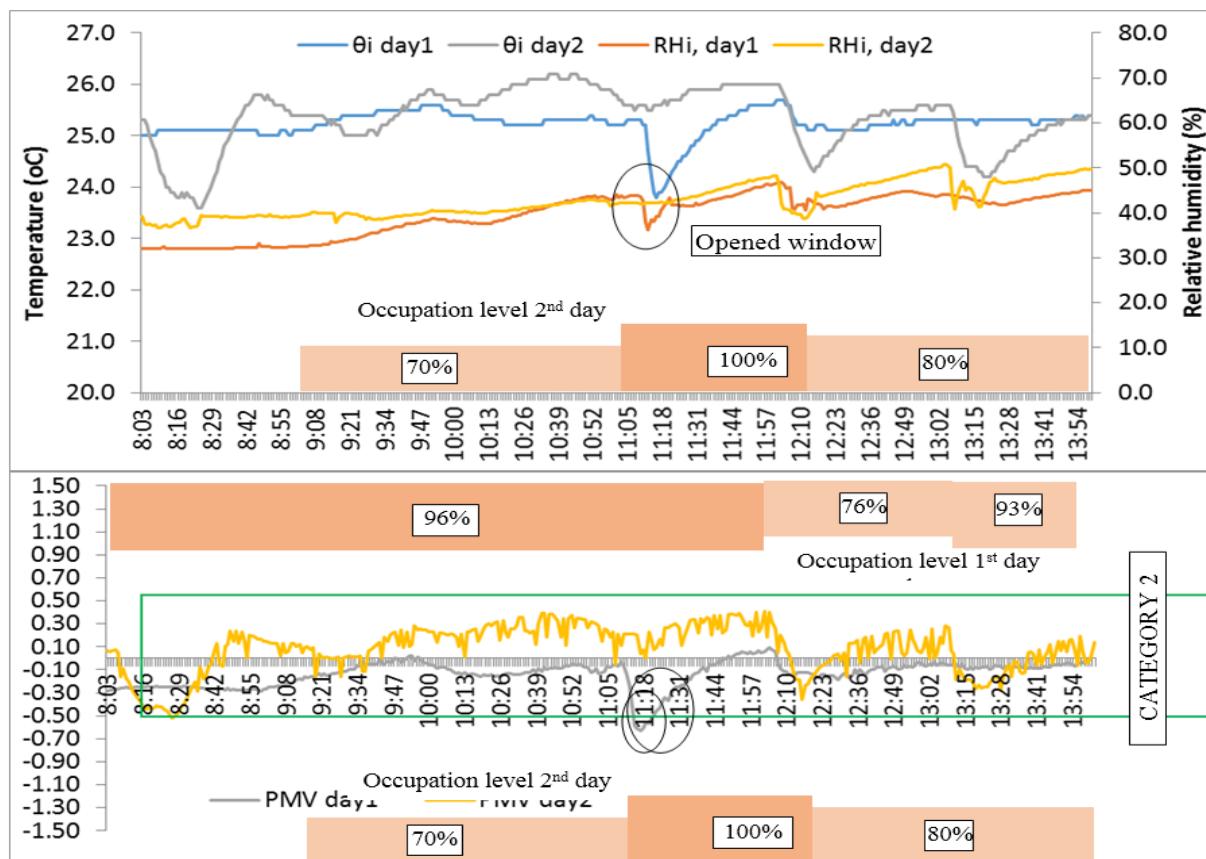


Fig.14 Distribuție PMV pentru sala fără sistem de ventilare

e) Analiza confortului interior pentru sala cu sistem de ventilare, $Q_{int}=450m^3/h$

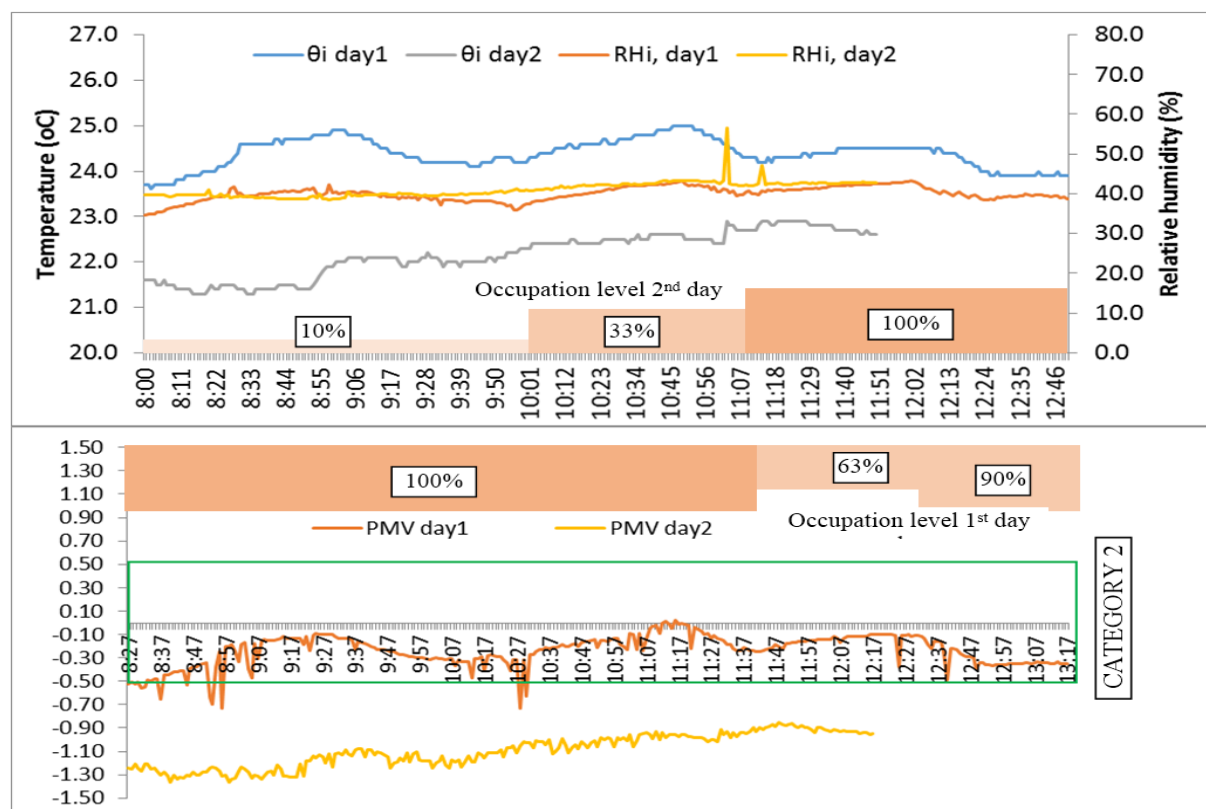


Fig.15 Distribuție PMV pentru sala cu sistem de ventilare

f) Comparație între cele două clase analizate

Tabel.1: Sala de clasă fără sistem de ventilare (mecanică sau naturală)

Sala de clasă FĂRĂ sistem de ventilare	Ziua 1			Ziua 2		
	Fără ventilare (mecanică sau naturală)					
	Temp. [°C]	Umiditate [%]	PMV [-]	Temp. [°C]	Umiditate [%]	PMV [-]
Max	26.0	46.9	0.09	26.20	50.70	0.41
Min	24.0	32.0	- 0.63	23.60	36.60	- 0.52
Medie	25.5	39.7	- 0.14	25.36	42.91	0.08

Tabel.2: Sala de clasă cu sistem de ventilare (mecanică și naturală)

Sala de clasă CU sistem de ventilare	Ziua 1			Ziua 2		
	Grile hrigroreglabile			Ventilator de fereastră		
	Temp. [°C]	Umiditate [%]	PMV [-]	Temp. [°C]	Umiditate [%]	PMV [-]
Max	25.00	43.40	0.02	22.90	56.60	- 0.85
Min	23.40	34.70	- 0.81	21.30	38.50	- 1.36
Medie	24.25	39.83	- 0.28	22.20	41.22	- 1.09

2.2.1.5 Concluzii

A. Debite de aer introdus și evacuat

Debitele de aer proaspăt introdus au valori între 423 și 600 m³/h în funcție de treapta de ventilare aleasă, între 1 respectiv 5. În ceea ce privește debitul de aer evacuat în debitele au valori între 305 și 360 m³/h în funcție de treapta de ventilare aleasă. Putem observa din valorile înregistrate că dependența treptei funcție de debitul de aer nu este liniară. La un debit maxim de aer introdus $D = 600 \text{ m}^3/\text{h}$ avem un număr de schimburi orare egal cu $n = 2 \text{ h}^{-1}$. Debitul de aer proaspăt raportat la numărul de elevi este de 24 m³/h/pers (s-a considerat un număr de 25 elevi în clasa fără profesor).

B. Zgomot și timp de reverberație

Nivelul de zgomot generat de ventilator la treapta maximă de turație ajungea până la valoarea $L = 47,7 \text{ dB(A)}$ fără atenuator, după montarea atenuatorului special conceput pentru acest proiect, s-a redus valoarea nivelului de zgomot la $L = 39,9 \text{ dB(A)}$, valoare recomandată de norme pentru acest tip de încăpere.

În ceea ce privește timpul de reverberație, valoarea măsurată înainte de montarea panourilor fonoabsorbante era $T = 1,99 \text{ sec}$ iar după aplicarea panourilor fonoabsorbante, valoarea s-a diminuat până la $T = 0,78 \text{ sec}$, în condițiile în care normele recomandă o valoare sub 0,8 sec, în concluzie valoarea obținută este satisfăcătoare.

C. Nivel de iluminare

Prin înlocuirea corpurilor de iluminat standard (tuburi cu descărcări în vapori de mercur) cu lămpi cu led, s-a obținut o economie a energiei consumate de sala de clasă plus un nivel de iluminare la nivelul planului util mai mare. De la valoarea inițială de 347 lux la cea de 540 lux după montarea noilor corpuri de iluminat. Putem spune ca calitatea nivelului de iluminare a fost semnificativ crescută, atingând o valoare maximă recomandată de norme.

D. Temperatură, umiditate, CO₂, PMV, PPD

a) Campanie măsurări IAQ fără ventilare în ambele săli:

Scopul acestei campanii a fost să determinăm diferențele de valori acumulate în cele două săli de curs, evoluția acestora și valorile maxime înregistrate pentru parametrii studiați.

Valoarea concentrației de CO₂ măsurat la exterior este relativ constantă având valoarea $\text{CO}_{2 \text{ ext}} = 400 \text{ ppm}$. În ceea ce privește evoluția concentrației de CO₂ în cele două săli de curs putem observa că acumularea este relativ constantă și atinge valori alarmante de până la 2800 ppm. Totodată, acumulările în cele două săli de clasă sunt relativ egale și putem spune ca sala fără sistem de ventilare poate fi folosită ca sală de refeință. Din înregistrările facute putem trage concluzia că necesitatea unui sistem de ventilare este obligatorie pentru a menține concentrația interioară de CO₂ în valori nominale recomandate.

Temperatura exterioară a avut valori între 6÷15°C. Temperatura măsurată în sală cu sistem de ventilare este mai scăzută din prisma faptului că în acea sală avem montați pe circuitul hidraulic al radiatoarelor robineti cu cap termostatic programabili, acestia sunt

setați să mențină temperatura de $T_{int} = 22^{\circ}\text{C}$. În sala fără sistem de ventilare se observă variații mult mai mari ale temperaturii interioare, cu valori cuprinse între $19\div 26^{\circ}\text{C}$ rezultând un disconfort termic mai accentuat în această încăpere.

În ceea ce privește umiditatea relativă interioară în cele două săli de curs, acestea au valori cuprinse între $35\div 50\%$, media fiind de cca.40%. Este o umiditate scăzută pentru confortul ocupaților dar nu critică.

b) Campanie măsurări IAQ – grile higroreglabile:

Scopul acestei campanii a fost investigarea funcționării grilelor higroreglabile montate în tocul de lemn al ferestrelor (6 grile $\times$ $35\text{m}^3/\text{h}$ rezultând un debitul maxim $210\text{m}^3/\text{h}$ la o diferență de presiune între exterior și interior egală cu 10Pa) și efectul acestora asupra calității aerului în sala de clasă. La acest debit avem un număr de schimburi orare egal cu $n = 0.7\text{ h}^{-1}$. Debitul de aer proaspăt raportat la numărul de elevi este de $8.4\text{m}^3/\text{h}/\text{pers}$ (s-a considerat un număr de 25 elevi în clasă fără profesor).

Se poate observa în anumite zile o înjumătățire a nivelului de CO_2 din interiorul sălii. Din aceasta situație tragem concluzia că aceste grile higroreglabile reduc semnificativ concentrația de CO_2 , însă nu până la limitele recomandate de norme. Observația principală în aceste caz este aceste ca acest tip de sistem de ventilare nu consumă energie electrică și nu induce curenți de aer reci.

Temperatura exterioară a avut valori între $8\div 25^{\circ}\text{C}$. În sala fără sistem de ventilare se poate vedea o supraîncălzire a aerului interior atrăgând după aceasta și un disconfort termic, avem deasemenea un consum suplimentar de energie datorat supraîncălzirii. În sala cu sistem de ventilare se observă o temperatură relativ constantă, așa cum spuneam mai devreme, robinetii termostatați programabili funcționează și mențin temperatura în jurul valorii de 22°C . Cu ajutorul acestor robineti avem o reducere de energie termică și un confort termic mai bun.

La fel ca și în cazul anterior, umiditatea relativă interioară în cele două săli de curs au valori cuprinse între $35\div 50\%$, media fiind de cca.42%. Este o umiditate scăzută pentru confortul ocupaților dar nu critică.

c) Campanie măsurări IAQ – ventilator, introducere, $Q = 450\text{m}^3/\text{h}$:

Scopul acestei campanii este acela de a evalua evoluția parametrilor de confort interior. În sala cu sistem de ventilare, ventilatorul a fost pornit pe toată perioada studiului la treaptă maximă având un debit de aer proaspăt introdus $Q = 450\text{m}^3/\text{h}/\text{pers}$. La acest debit avem un număr de schimburi orare egal cu $n = 1.5\text{ h}^{-1}$. Debitul de aer proaspăt raportat la numărul de elevi este de $18\text{m}^3/\text{h}/\text{pers}$ (s-a considerat un număr de 25 elevi în clasă fără profesor). În sala fără sistem de ventilare a fost păstrat programul normal de funcționare.

Putem observa cu ușurință că concentrația de CO_2 în sala cu sistem de ventilare nu depășește valoarea de 1200 ppm în timp ce în sala fără sistem de ventilare concentrația de CO_2 atinge valori de până la 2600 ppm . Din această campanie tragem concluzia că un simplu ventilator montat în fereastra reduce semnificativ concentrația de CO_2 .

Temperatura exterioară a avut valori între $9\div 15^{\circ}\text{C}$. Temperaturile interioare în cele două săli de clasă au fost menținute constant, la fel ca și în cazurile precedente, în sala fără sistem de ventilare avem o temperatură mai ridicată.

Umiditate relativă interioară în cele două săli de curs a avut valori cuprinse între $32\div 45\%$, media fiind de cca.40%.

d) Analiza confortului interior pentru sala fără sistem de ventilare:

Scopul acestei analize este acela de a vedea diferențele între cele două sisteme de ventilare prezentate anterior din punct de vedere al indexului de confort PMV. Aceasta a fost o campanie de măsură și comparare strict independentă față de celelalte măsurări prezentate anterior. Cele două zile analizate au fost consecutive, parametrii au fost mășurați în același timp în ambele săli de curs. Gradul de ocupare al elevilor în salile de curs a fost de $70\div 100\%$. Variația indexului de confort PMV este $-0.5\div 0.5$ ceea ce înseamnă se încadrează în categoria II conform standardului IS-2010.

e) Analiza confortului interior pentru sala cu sistem de ventilare, $Q_{\text{introducere}}=450\text{m}^3/\text{h}$:

În sala cu sistem de ventilare, în prima zi s-a testat sistemul de ventilare cu grile higroreglabile, apoi a doua zi precedentul sistem de ventilare a fost izolat și s-a testat sistemul de ventilare cu ventilator în fereastră, debitul de aer proaspăt introdus a fost setat la $Q=450\text{m}^3/\text{h}$. Gradul de ocupare al elevilor în salile de curs a fost de $10\div 100\%$. Variația indexului de confort PMV este $-0.5\div 0.5$ pentru ziua 1 (sistem de ventilare cu grile higroreglabile) ceea ce înseamnă se încadrează în categoria II conform standardului IS-2010 și -1.2 pentru ziua a 2-a ceea ce înseamnă se încadrează în categoria IV conform standardului IS-2010.

f) Comparație între cele două clase analizate:

În cele două zile analizate, în stituția sălii de clasa fără sistem de ventilare (naturală sau artificială) nu se observă mari diferențe între valorile medii ai parametrilor înregistrați. Valoarea medie a temperaturii interioare a aerului variază între $t_{\text{med}}=25.5\div 25.36^{\circ}\text{C}$, umiditatea relativă interioară variază între $rh_{\text{med}}=39.7\div 42.91\%$, indexul de confort PMV variază între $PMV_{\text{med}}=0.14\div 0.08$ [-].

În cele două zile analizate, în stituția sălii de clasa cu sistem de ventilare (naturală sau artificială) se observă diferențe semnificative între anumite valori medii ai parametrilor înregistrați. Valoarea medie a temperaturii interioare a aerului variază între $t_{\text{med}}=22.2\div 24.25^{\circ}\text{C}$, umiditatea relativă interioară variază între $rh_{\text{med}}=39.83\div 41.22\%$, indexul de confort PMV variază între $PMV_{\text{med}}=0.28\div 1.09$ [-].

Remarca principală între cele două sisteme de ventilare în sala de clasă cu sisteme de ventilare este aceea că deși sistemul de ventilare cu grile higroreglabile are un index PMV mai bun decât sistemul de ventilare cu ventilator, acesta nu asigură necesarul de aer proaspăt pentru ocupanți. În cazul ventilării cu grile higroreglabile avem un debit maxim de $8.4\text{m}^3/\text{h}/\text{pers}$ iar în cazul ventilării cu ventilator avem un debit maxim de $24\text{m}^3/\text{h}/\text{pers}$. Conform norme, debitul recomandat este de $25\text{m}^3/\text{h}/\text{pers}$.

Fiecare sistem în parte are avantaje și inconveniente, de aceea găsirea unui sistem care să rezolve toate problemele de confort și eficiență energetică este greu de găsit și numai studiile care le cuprind pe amandouă pot avea rezultate relevante.

2.3 Studiu de caz, stand experimental 2 – răcitor evaporativ + baterie electrică

2.3.1 Campanie experimentală 1

2.3.1.1 Concept

Făcând o analiză asupra sistemelor deja instalate și testate, s-a propus montarea unui sistem prototip de asigurare a calității aerului care nu a mai fost testat în nici un proiect de cercetare din România. Acesta este compus dintr-un răcitor evaporativ, baterie de încălzire, tubulatură de distribuție aer cu grile și accesorii plus tabloul de automatizare aferent.

2.3.1.2 Prezentare sistem de ventilare compus dintr-un răcitor evaporativ și baterie electrică

A. Descriere

Sistemul este un ansamblu compus dintr-un răcitor evaporativ plus tubulatura de distribuție și grile având ca rol principal introducerea de aer proaspăt în sala de clasă.

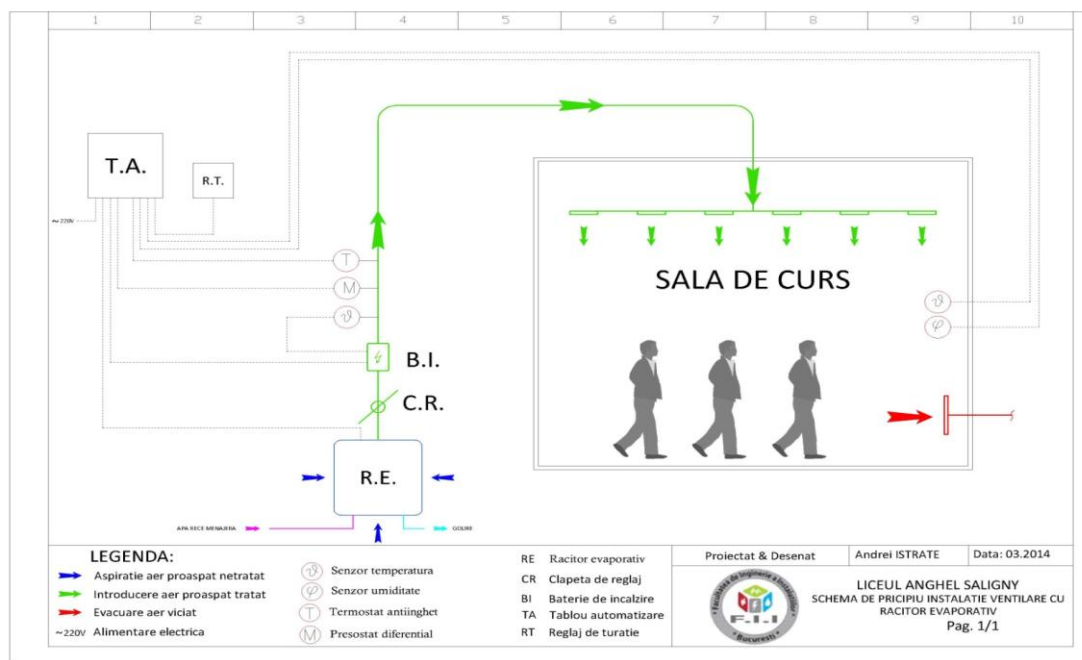


Fig. 1 Schemă de principiu instalație ventilare

2.3.1.3 Reprezentare sală de clasă

A. Descriere

Sala de clasă se află în "Colegiul Tehnic Anghel Saligny", care este situat în București, cartierul Titan, cu intrarea principală dinspre Bulevardul Nicolae Grigorescu. Liceul analizat este recunoscut pentru profilul tehnic, în care se fac studii preuniversitare în domeniile: mecanic, electric, instalații și lucrări publice, construcții. Totodată, se predă și discipline din diferite arii curriculare (limba și comunicare, matematică, științe ale naturii, om și societate, arte, educație fizică și sport). În plus, periodic se dezvoltă și se organizează programe de formare continuă pentru adulți. În alegerea sălii de clasă s-a analizat împreună cu reprezentanții conducerii liceului sala predispusă studiului în cauză

(cu un grad de ocupare cât mai ridicat, o orientare cât favorabilă aporturilor de caldură datorită radiației solare, un etaj superior, cea mai apropiată de utilități: energie electrică și apă rece menejeră). S-a considerat că sala 8, etaj 2, ocupată dimineața (liceu zi) și seara (liceu seral), ferestrele orientate spre est, în vecinătatea grupului sanitar de fete. Caracteristicile geometrice ale sălii sunt: Lungime = 7.84 m, Lățime = 6.2 m, Înălțime = 3.3 m.

B. Plan

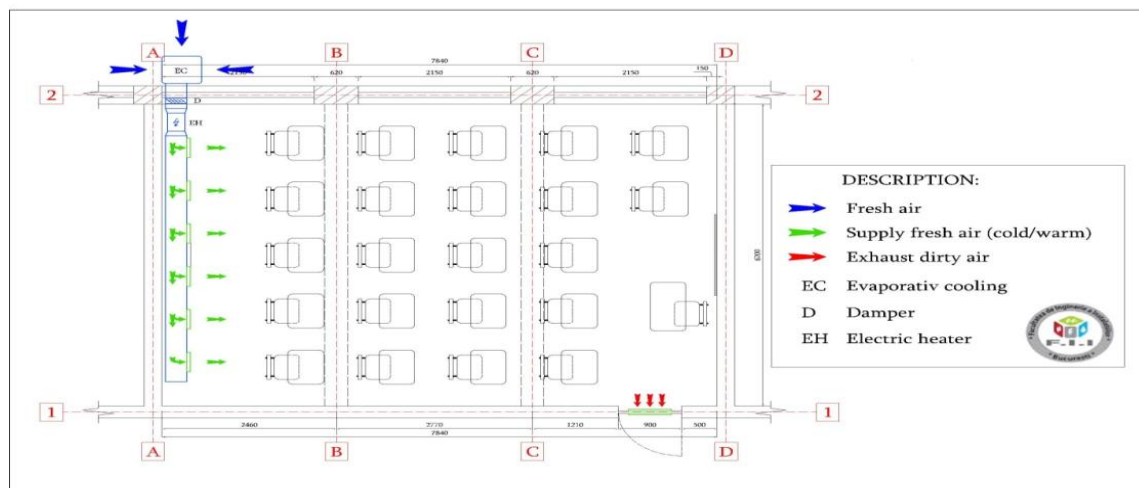


Fig.2 Reprezentare în plan a instalației de ventilare

2.3.1.4 Rezultat final montare sistem

A. Descriere

În stabilirea poziției de montaj finale s-au luat în calcul următoarele: modul de aranjare al mobilierului din sala de clasă (bănci și catedră), poziția ușii de acces în sală de clasă, forma geometrică a încăperii, poziția pereților și a ferestrelor. Analizând toate caracteristicile enumerate anterior s-a ajuns la concluzia că poziția ideală pentru a avea un montaj cât mai ușor al sistemului de răcire evaporativă și o distribuție de aer uniformă este în spatele clasei, o tubulatură de introducere aer tratat amplasată orizontal cu latura scurtă a încăperii la nivelul grinzilor (să se creeze similar cu o perdea de aer orizontală și gravitațional să cadă în încăperea și să spele cât mai uniform camera); evacuarea aerului viciat se va face datorită diferenței de presiune dintre încăperea și hol cu ajutorul unei grile de transfer montată în ușă.



Fig. Vedere exterioară sistem de ventilare



Fig.4 Vedere interioară sistem de ventilare

2.3.1.5 Rezultate măsurări campania 1

A. Performanțe sistem de ventilare

Caracteristică sistem de ventilare funcție de: treaptă de reglaj, debit, curent electric, zgomot. În urma măsurărilor și reglajelor efectuate s-au obținut următoarele valori pentru parametrii măsurați:

SALA DE CLASĂ NR.8 ET.2**Centralizator măsurători parametri**

Legendă: Tip reglaj: n-n

n-... -turație telecomandă

...-n -treapta variator

Ex: 2-1 = turație telecomandă nr. 2, treapta regulator turație nr. 1

Nr. Crt.	Reglaj* * vezi legenda	Debit aer TOTAL Q [m ³ /h]	Curent I [A]	Zgomot Lp [dB(A)]
1	1-1	378	0.4	34
2	1-2	563	0.53	35
3	1-3	811	0.73	38
4	1-4	1261	1.05	45
5	1-5	1548	1.23	48
6	2-1	429	0.43	35
7	2-2	648	0.59	37
8	2-3	926	0.82	40
9	2-4	1400	1.13	47
10	2-5	1665	1.32	50
11	3-1	506	0.49	34
12	3-2	781	0.69	38
13	3-3	1111	0.93	44
14	3-4	1576	1.25	48
15	3-5	1735	1.48	51

Nota: parametrii aleși sunt cei caracteristici numărului curent 3, cu treapta de reglă 3 -1, debitul de aer introdus Q=811 m³/h, curentul electric consumat I=0.73 A și zgomotul Lp= 38dB(A)

B. Măsurări finale

a) Scop

Scopul măsurărilor și reglajelor finale este acela de a ne asigura că sistemul funcționează la parametrii proiectați și este pregătit pentru determinarea performanțelor acestuia.

b) Metode

Debitele de aer se cunosc funcție de treapta de reglaj, s-a păstrat treapta de reglaj 1-3 caracteristica debitului $Q = 811 \text{ m}^3/\text{h}$.

Temperatura și umiditatea, CO_2 s-au măsurat și înregistrat cu ajutorul unor înregistratoare montate uniform în sala de clasă nr. 8 la înălțimea băncilor, totodată, în dreptul catedrei cu ajutorul aparatului multifuncțional TESTO s-a determinat temperatura medie, umiditatea medie și concentrația de CO_2 medie în sala de clasă; în sala de clasă nr. 7 s-a montat un logger în mijlocul încăperii; sub unitatea exterioară a sistemului de răcire evapoativă s-a montat un logger pentru a determina parametrii exterior; pentru a putea determina eficiența răcitorului evaporativ s-a instalat pe aerul refulat în încăperea un logger de temperatură și umiditate.

Nivelul de CO_2 s-a măsurat cu ajutorul logger-elor și a aparatului TESTO în același condiții ca în cazul măsurărilor de temperatura și de umiditate.

Pentru a vedea care este distribuția temperaturii, umidității și a CO_2 -ului în sala de clasă unde este montat sistemul prototip, s-au montat uniform distribuit în încăperea 9 înregistratoare.

c) Caracteristici înregistrări parametrii climatici:

Pasul de timp al tuturor înregistratoarelor este de 60 sec, data măsurărilor este 22.05.2014, durata de timp a măsurărilor este de la 07⁰⁰-12³⁰, nr. ocupanți 22.

În figurile de mai jos se pot vedea momente din timpul măsurărilor precum și distribuția și amplasamentul logger-elor în sălile de clasă.



Fig.5 Distribuție loggere în clasa nr. 8



Fig.6 Aparat multifuncțional TESTO

2.3.1.6 Rezultate parametrilor înregistrați pe o săptămână

A. Distribuția concentrației CO₂ în decursul unei săptămâni

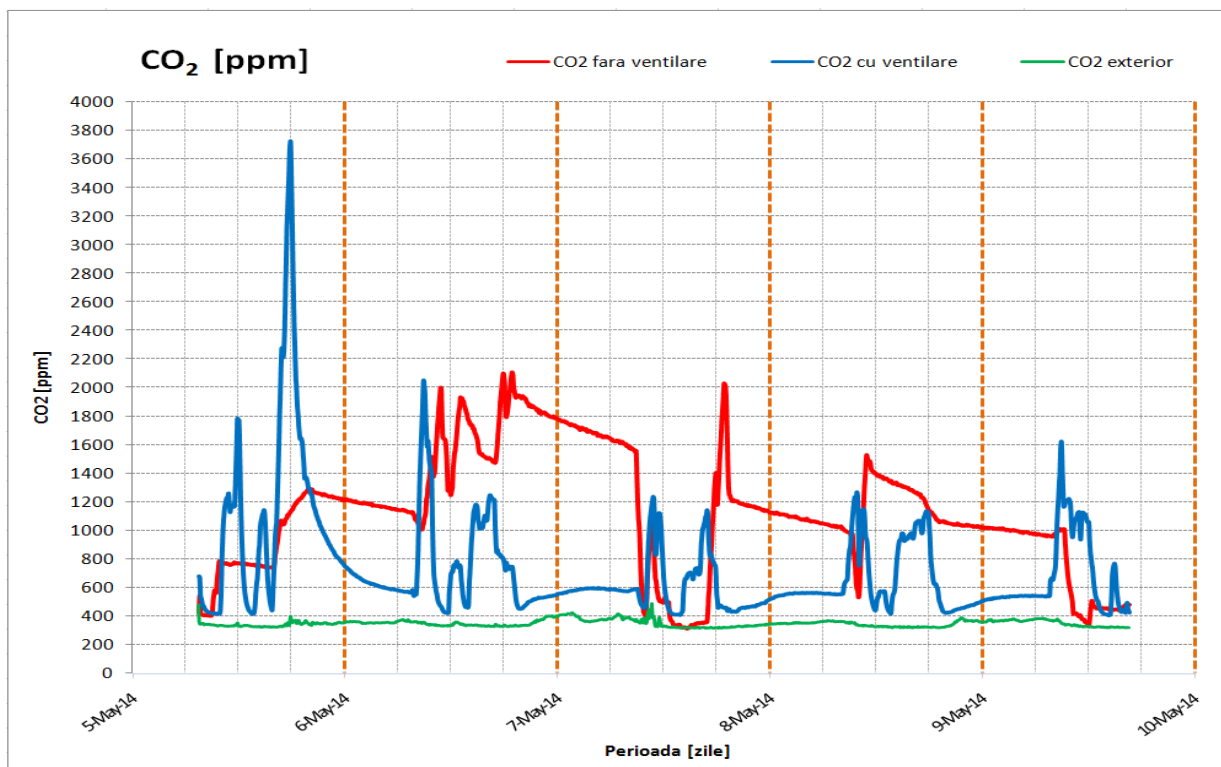


Fig.7 Distribuție preliminară concentrație CO₂

B. Distribuția de în temperatură și umiditate relativă în decursul unei săptămâni

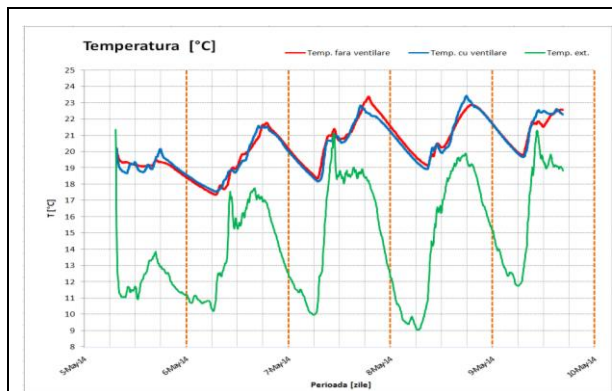


Fig.8 Distribuție preliminară temperatură

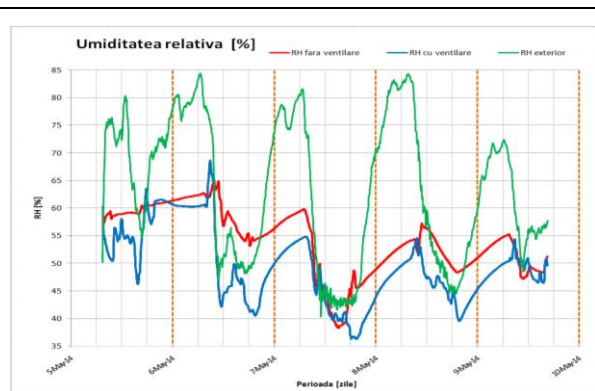


Fig.9 Distribuție preliminară umiditate

2.3.1.7 Rezultate parametrilor înregistrați pe o zi specifică

A. Distribuția concentrației de CO₂ în decursul unei zi specifice

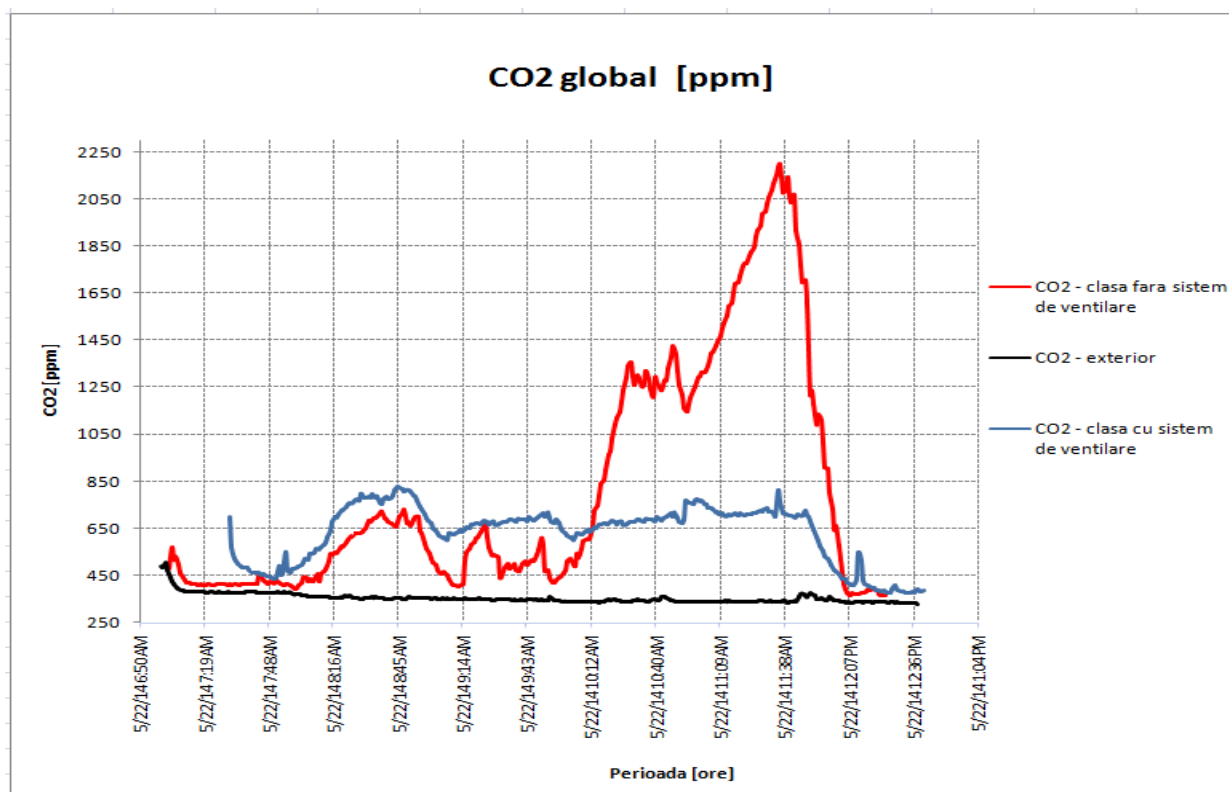


Fig.10 Distribuție concentrație CO₂ global

B. Distribuția de temperatură și umiditate relativă în decursul unei zi specifice

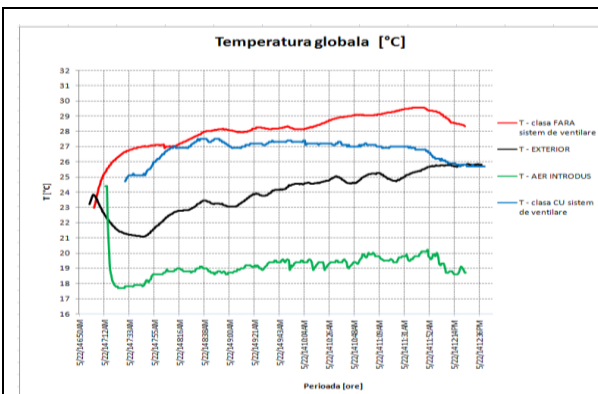


Fig.11 Distribuție temperatură globală

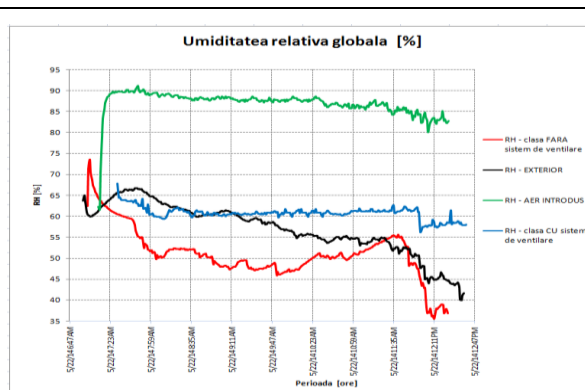


Fig.12 Distribuție umiditate relativă globală

2.3.1.8 Concluzii generale campania 1

A. Parametrii înregistrați pe o săptămână

a) Distribuția concentrației de CO₂ în decursul unei săptămâni

Se pot observa cu ușurință variațiile concentrațiilor de CO₂ din cele două săli de curs. În prima zi de înregistrări au fost probleme cu alimentarea electrică a unității de ventilare, de aceea sunt variațiile semnificative ale concentrației de CO₂. Tot odată și numărul elevilor din sala de curs a fost variabil (nu am putut controla acest aspect). Valoarea medie a concentrației de CO₂ din sala cu sistem de ventilare din decursul întregii săptămâni este de 1200ppm iar în sala fără sistem de ventilare valoare medie a concentrației de CO₂ este 1650ppm.

b) Distribuția de temperatură în decursul unei săptămâni

Diferența între temperaturile interioare în cele două săli de curs este aproape egală cu zero deși sistemul de ventilare a introdus aer proaspăt în permanență cu o temperatură cuprinsă între 9÷20°C. Încălzirea aerului exterior introdus a fost efectuată cu ajutorul bateriei de încălzire care a menținut în permanență temperatura pe introducerea la o valoare constantă de $t_{in} = 20^{\circ}\text{C}$. În sala fără sistem de ventilare temperatura aerului interior a fost în parametri datorită aporturilor de caldura exterioare scăzute (temperatură și radiație solară).

c) Distribuția umidității relative în decursul unei săptămâni

În sala cu sistem de ventilare se observă o scădere a umidității relative interioare datorită aportului de aer proaspăt ridicat. Umiditatea relativă în cele două săli de curs variază între $rh_{int} = 40\div 60\%$, o umiditate relativă bună pentru confortul interior.

B. Parametrii înregistrați pe o zi specifică

a) Distribuția concentrației de CO₂ în decursul unei zi specifice

Concentrația de CO₂ depășește limitele recomandate de ASHRAE, să fie menținut sau mai jos de 1000ppm. Concentrația de CO₂ din sala de clasă fără sistem de ventilare este mai mică sau egală cu concentrația de CO₂ din sala de clasă cu sistem de ventilare deoarece de la începutul înregistrărilor și până la ora 10⁰⁰ AM, ocupanții au stat cu ferestrele și geamurile deschise pentru a evita supraîncălzirea și suprapoluarea încăperii, în tot acest timp zgomotul de fundal generat de exterior era peste limitele minime impuse de norme. De la ora 10⁰⁰AM, s-au închis în mod expres ușa și ferestrele pentru a vedea la ce nivel de poluare se ajunge în această încăpăre (fără ventilare) și s-a ajuns la concluzia că într-un interval de 60 minute, concentrația de CO₂ a ajuns de la valoarea de cca. 600ppm la valoare de 2100ppm, o valoare ce depășește limita maximă de CO₂ recomandată de norme (<1000ppm). În sala de clasă unde este montat sistemul de ventilare se observă că valoarea concentrației de CO₂ nu depășește concentrația de 850ppm, ceea ce dovedește că debitul de aer proaspăt ales este suficient pentru a menține concentrația de CO₂ din încăpăre sub limita recomandată. Ca remarcă generală, sistemul de ventilare testat reduce semnificativ concentrația de CO₂ din interiorul încăperii.

b) Distribuția de temperatură în decursul unei zi specifice

În sala fără sistem de ventilare se observă o supraîncălzire deja din luna Mai, ajunând la temperaturi interioare de până la 29°C. Sistemul de răcire evaporativ reușește să reducă temperatura de la valoarea temperaturii exterioare de 26°C până la valoarea de aer introdus de 18°C, un ecart de temperatură destul de mare comparativ cu puterea

consumată (cca. 180W) și cu sistemele clasice de condiționare a aerului. Deși temperatura este mai mare față de cea recomandată a confortului termic, senzația de zăpușeală nu este resimțită. Ca remarcă generală, temperatura în sala de clasă cu sistem de ventilare crește față de temperatura exterioară însa este mai mică decât în sala de clasă unde nu este montat sistem de ventilare.

c) Distribuția umidității relative în decursul unei zi specifice

În sala de clasă unde nu este instalat nici-un sistem de ventilare, umiditatea relativă este mai mică deoarece ferestrele au stat dechise o mare parte din timp, degajările de umiditate sunt mici (doar de la ocupanții încăperii) iar temperatura interioară a crescut având ca efect reducerea umidității relative la același conținut de umiditate (x [g/kg]). În interiorul sălii de curs media umidității relative interioare a fost de $rh_{int} = 50\%$.

În sala de clasă unde este montat sistemul evaporativ, deoarece funcționarea sistemului în ceea ce privește răcirea aerului folosește exclusiv răcirea adiabată (umidificarea directă a aerului) s-a preconizat o creștere a umidității interioare. Umiditatea relativă a aerului introdus are valoarea aproape de limita de saturație, cca. 90% dar atâta timp cât umiditatea relativă în cameră este menținută sub limita curbei de zăpușeală, sistemul este satisfăcător. În interiorul sălii de curs media umidității relative interioare a fost de $rh_{int} = 60\%$. Remarca generală este aceea că umiditatea relativă în sala cu sistem de ventilare compus dintr-un răcitor evaporativ + baterie electrică se situează sub limita maximă impusă de confortul termic ($<70\%$).

C. *Eficiență energetică*

Se poate vedea în eficiența răcitorului evaporativ performanța acestuia și rezultatele obținute că cu o putere electrică consumată de 180W se obține o putere frigorifică de 1,9kW, ceea ce este un real succes. Cu o unitate de energie electrică se pot obține până la 10 unități de energie frigorifică și scopul principal al acestui sistem a fost atins, o concentrație de CO₂ minimă recomandată.

2.3.2 Campanie experimentală 2

2.3.2.1 Descriere campanie experimentală

S-a păstrat aceleași sali și aceeași configurație, modificarea principală este că întreg liceul a fost renovat și reabilitat termic. S-au înlocuit ușile, mobilierul educațional, s-au efectuat lucrări de vopsitorie asupra pereților, tavanului și a pardoselii. Anvelopa clădirii a fost izolată termic cu un strat de polistiren având grosimea de 10cm peste care s-a aplicat stratul suport și vopseaua texturată.

2.3.2.2 Scop, protocol de măsură și aparate utilizate

A. Scop

Scopul acestor serii de măsurări este acela de a determina care sunt valorile de COV (compusi organici volatili), în mod expres: Radon, Formaldehide, Acetaldehide și Acetona din aerul interior al celor doua sali de curs analizate, în diferite situații de ventilare.

B. Protocol de măsură

S-au făcut măsurări cu un pas de timp de 5 minute timp de 7 zile pentru cele două săli de clasă analizate (cu sistem de ventilare și fără sistem de ventilare). În ambele săli măsurările au fost făcute în mijlocul încăperii și la nivelul tavanului (acolo s-au putut monta „în siguranță” cutiile de depozitare ale senzorilor). Punctele de măsură sunt reprezentate pe plan cu un punct roșu.

În sala fără sistem de ventilare s-a făcut un set de măsurări iar în sala cu sistem de ventilare s-au făcut 3 seturi de măsurări. Primul set la un debit nominal de 60 m³/h/pers, al 2-lea set la un debit de 0 m³/h/pers, al 3-lea set la un debit de 25 m³/h/pers.

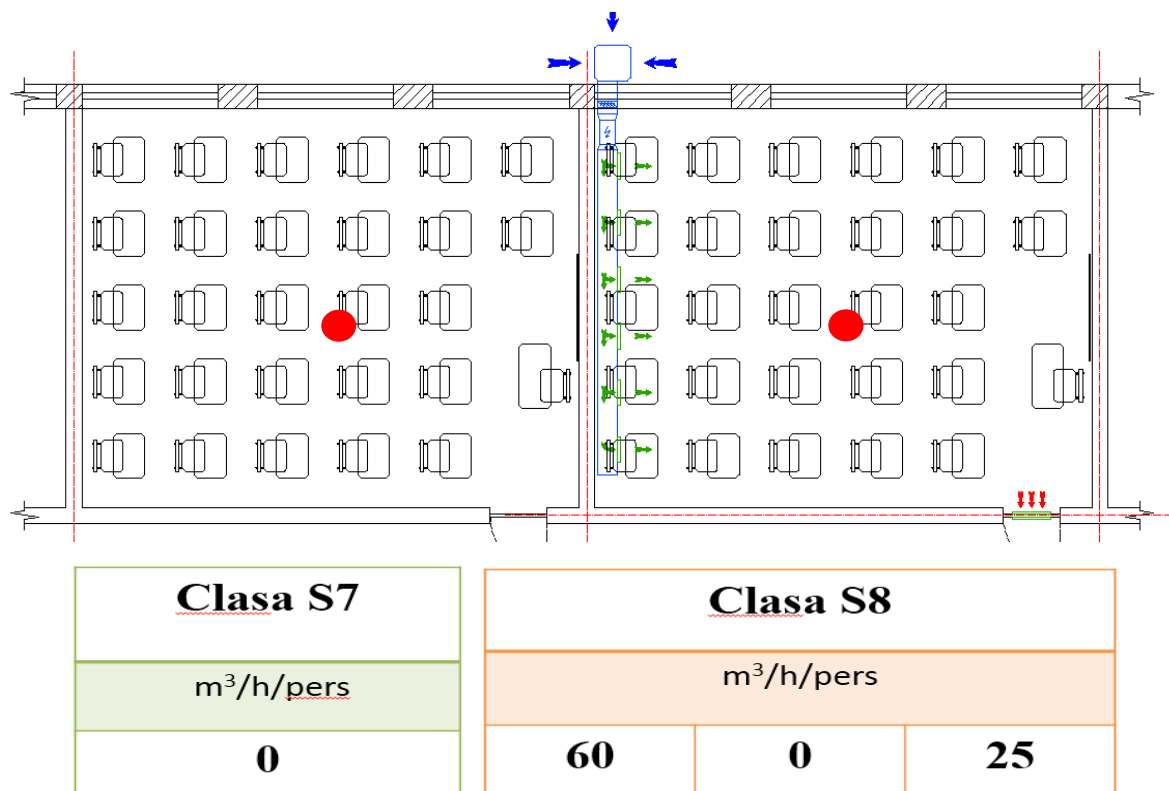


Fig.13 Strategii de ventilare, debite de aer testate

C. Aparate utilizate

- Detector activ radon SARAD SCOUT sn. 45
- Probă de măsură pentru COV (compuși organici volatili) de tip DSD-DNPH, acesta din urmă este alcătuit dintr-un tub de polietilenă poroasă, care acționează ca membrană difuză, la care este atașată o mică seringă din polipropilenă utilizată pentru diluția analiților din absorbant.

2.3.2.3 Rezultate măsurări campania 2

A. Rezultate obținute, reprezentare grafică, tabelară

a) Reprezentare grafică

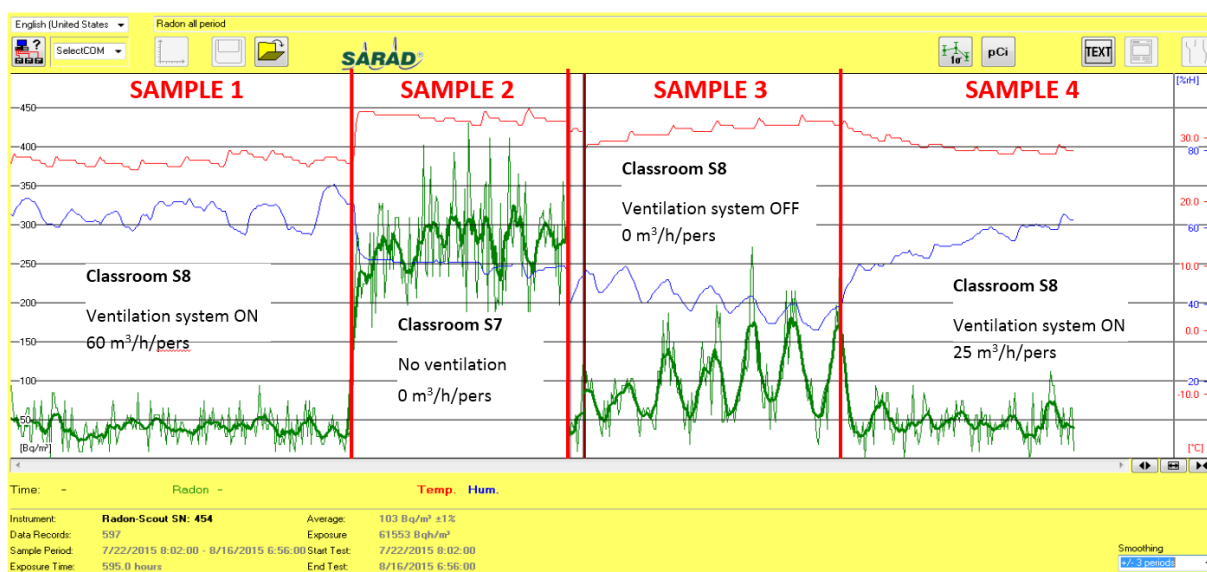


Fig.14 Distribuția de T, RH și Radon în funcție de tipurile de ventilare

UNDE:

Sample 1= măsurări în clasa **cu** sistem de ventilare, debit de aer introdus = 60 m³/h/pers

Sample 2= măsurări în clasa **fără** sistem de ventilare, debit de aer introdus = 0 m³/h/pers (ferestre OFF)

Sample 3= măsurări în clasa **cu** sistem de ventilare, debit de aer introdus = 0 m³/h/pers

Sample 4= măsurări în clasa **cu** sistem de ventilare, debit de aer introdus = 25 m³/h/pers

b) Reprezentare tabelară

Location	Type of ventilation	Formaldehyde	Acetaldehyde	Acetone	Radon
		(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	(Bq/m³)
RECOMMENDED LIMITS		10	46	-	300
Classroom S7	No ventilation	86.68	45.16	59.37	320
Classroom S8	Mechanical ventilation	5.32	1.65	1.95	40

VOC

RADON

Fig.15 Rezultate obținute pentru COV și RADON

2.3.2.4 Concluzii campania 2

În reprezentarea grafică se observă evoluția concentrației de Radon în diferitele strategii de ventilare în cele două săli de curs. În situația setului de măsurări nr. 1 în sala cu sistem de ventilare având sistemul de ventilare pornit la un debit specific de $25\text{m}^3/\text{h}/\text{pers}$ avem o variație diurnă a concentrației de Radon cu o valoare medie de $C_{Rn} = 45\text{ Bq}/\text{m}^3$. În setul de măsurări numărul 2, în sala fără sistem de ventilare și cu ferestrele închise a avut loc o creștere semnificativă a concentrației de Radon înregistrând o valoare medie de $C_{Rn} = 320\text{ Bq}/\text{m}^3$, o valoare alarmantă putem spune. În setul de măsurări numărul 3, în sala cu sistem de ventilare, având sistemul de ventilare oprit regăsim o variație a concentrației diurne semnificativ mai mică decât în sala fără sistem de ventilare, cu o medie de $C_{Rn} = 120\text{ Bq}/\text{m}^3$. De aici tragem concluzia că și această sala are degajări de Radon, însă datorită ventilării repetate, acumularea în încăpere este mai mică. În setul de măsurări numărul 4 s-a testat sistemul la un debit de ventilare normal și normal pentru o sală de clasă. Dacă comparăm situația în care sala de clasă era ventilată cu un debit mare cu un debit normal, se observă că concentrația și variația diurnă este aproximativ aceiași. În concluzie, nu are rost să supraventilăm din moment ce rezultatul final este același.

În reprezentarea tabelară se observă că concentrațiile interioare de acetonă, formaldehidă și acetaldehidă sunt mult mai mari dacă nu există ventilare. Cele mai multe dintre valorile măsurate au fost peste limitele recomandate, ceea ce poate reprezenta o problemă serioasă de sănătate pentru elevii expuși. În sala de clasă cu sistem de ventilație, valorile înregistrate erau mai mici decât în sala de clasă fără nici un sistem de ventilație. Studiul arată că în școlile din România calitatea aerului din interior nu este suficientă și ar putea provoca repercusiuni pe termen lung asupra sănătății copiilor.

2.4 Studiu de caz, stand experimental 3 – recuperator de căldură tip dulap

2.4.1 Campanie experimentală

2.4.1.1 Descriere soluție de ventilare

A. Descriere sistem de ventilare

Sistemul de ventilare are o forma geometrică de forma unui paralelipiped, un dulap amplasat în spatele clasei. Carcasa metalică exterioară este acoperită cu un strat lemnos de PAL (profil așchii lemnoase) de culoarea mobilierului din sala de curs (cu scopul de a scoate cât mai puțin în relief apariția unui obiect străin în încăpere). Dimensiunile geometrice exterioare ale acestuia sunt: înălțime 2000 mm, lățime 800mm, adâncime 660mm. Aerul viciat (din încăpere) este aspirat pe la partea laterală, superioară și aerul proaspăt tratat și filtrat este introdus pe la partea superioară în colțul opus aspirării aerului viciat.

Elementele componente principale ale acestuia sunt: carcasa exterioară metalică izolată, ventilator centrifugal de introducere și de evacuare cu modul EC integrat, recuperator de căldură în plăci din material plastic, baterii electrice de încălzire, filtre de aer (G4 pe aerul evacuat din încăpere și F7 pe aerul proaspăt introdus în încăpere), atenuatoare de zgomot (atât pe circuitul de aer evacuate cât și pe circuitul de aer proaspăt introdus), senzori de temperatură, panou de automatizare cu plăci electronice, grilă de aspirație, grilă de introducere, senzor de nivel condens și rezistență electrică pentru evaporarea acestuia, clapete anti-sens tip future (pentru evitarea pătrunderii aerului atunci când unitatea este oprită/stand-by).

Din punct de vedere funcțional acesta lucrează astfel: aerul proaspăt exterior este aspirat prin grila exterioară (cu protecție anti-păsări și anti-frunze), trece prin tubulatura izolată de aspirație, ajunge apoi la intrarea în unitate, trece prin filtrul de aer din clasa F7, este preîncălzit (dacă este nevoie, cu scopul de a proteja schimbătorul de căldură), apoi este aspirat de ventilatorul centrifugal, trece prin schimbătorul de căldură în plăci, iese din acesta, este reîncălzit (dacă este necesar) apoi parcurge traseul prin atenuatorul de zgomot (să-l preia excesul de zgomot) și în cele din urmă ajunge la grila de introducere de la partea superioară unde este introdus în sala de clasă; aerul viciat din sala de clasă este aspirat prin partea lateral-superioară, este filtrat cu ajutorul filtrului G4, parcurge atenuatorul de zgomot și ajunge la schimbătorul de căldură în plăci, îl strabate (cedându-i căldură) apoi trece prin aspirație ventilatorului de evacuare fiind refulat către tubulatura de evacuare și în cele din urmă ajunge la grila de evacuare cu plasa anti-păsări și anti-frunze. Ca circuitul de aer proaspăt să nu se scurtcircuiteze cu cel de aer evacuat, s-a prevăzut un cot orientat în jos la 90° pe circuitul de aer proaspăt (ca aerul să fie aspirat de lângă fereastră) și cel de aer viciat a fost scos drept din fereastră, cu o prelungire de cca. 800mm).

B. Descriere sistem de monitorizare și control

Sistemul de monitorizare și control este foarte complex, de ultimă generație dotat cu plăci electronice de monitorizare, control, stocare date și placă de rețea (cu scopul de a se controla de la distanță, având web-browser integrat). Unitatea este dotată cu senzori de temperatură pentru măsură și control în următoarele puncte din circuitul de trecere al aerului: aspirație aer viciat din încăpere, ieșire aer viciat din recuperator de căldură, aspirație aer proaspăt exterior, ieșire aer proaspăt tratat din recuperatorul de căldură refulat în încăpere. La partea superioară lângă grila de aspirație aer viciat este amplasat senzorul de CO₂, acesta are rolul de a măsura și controla turația ventilatoarelor cu scopul de a menține un nivel limită al CO₂-ului.

C. Schema de principiu unitate de recuperare căldură

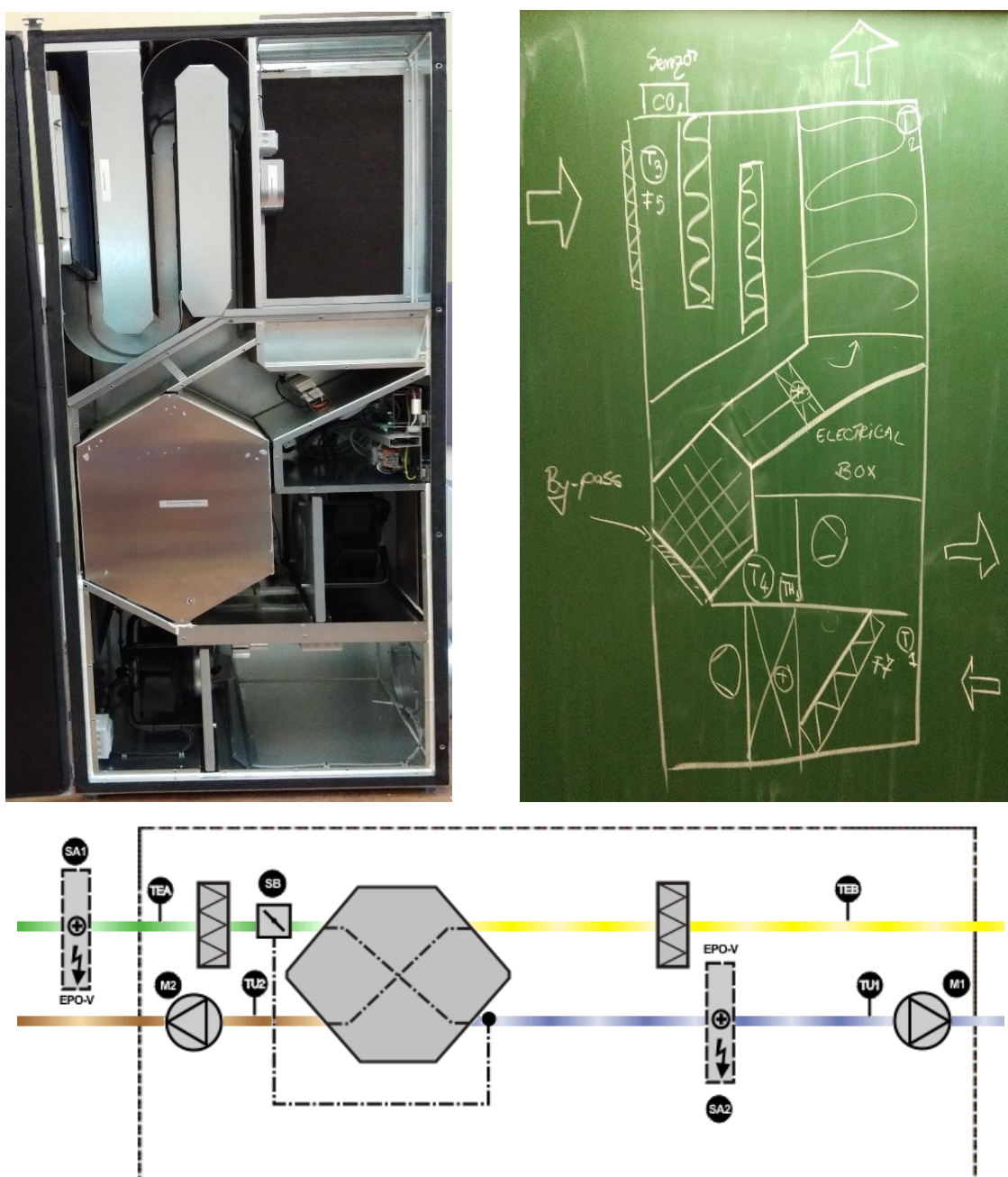


Fig.1 Schemă de principiu instalatie de ventilare cu recuperare de căldură

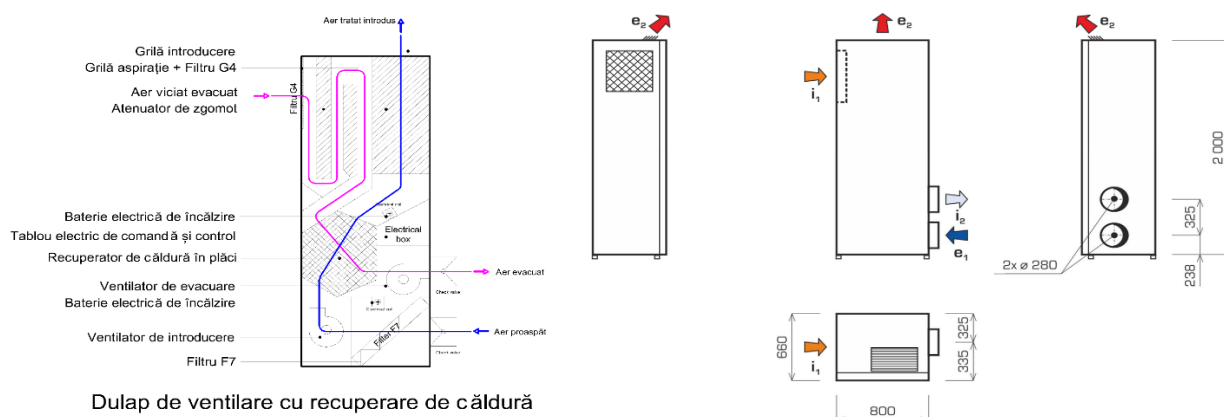


Fig.2 Schemă de principiu instalatie de ventilare cu recuperare de căldură

2.4.1.2 Reprezentare sală de clasă

A. Descrizione

Sala de clasă studiată este situată în Colegiul Național Mihai Viteazul din Sectorul 2, București. Sala de curs este situată la etajul 1, în mijlocul clădirii, cu orientarea ferestrelor spre latura vestică.

Pereții sunt făcuți din cărămidă, dimensiunile sălii de curs sunt: lungime 9m, lățime 6.8m, înălțime 4.9m rezultând o suprafață de 61.2 m² și un volum de 300 m³. Suprafața vitrată este alcătuită din trei ferestre ferestrele de tip termopan dublu cu tâmplărie din lemn cu partea superioară în formă de semilună și partea inferioară de formă dreptunghiulară având o lățime de 1.5 m. În sala de curs sunt 34 de bănci din lemn grupate două câte două plus catedra profesorului. Ușa de la intrare este dublă cu deschidere spre exterior și o lățime totală de 1.3m.

B. Plan

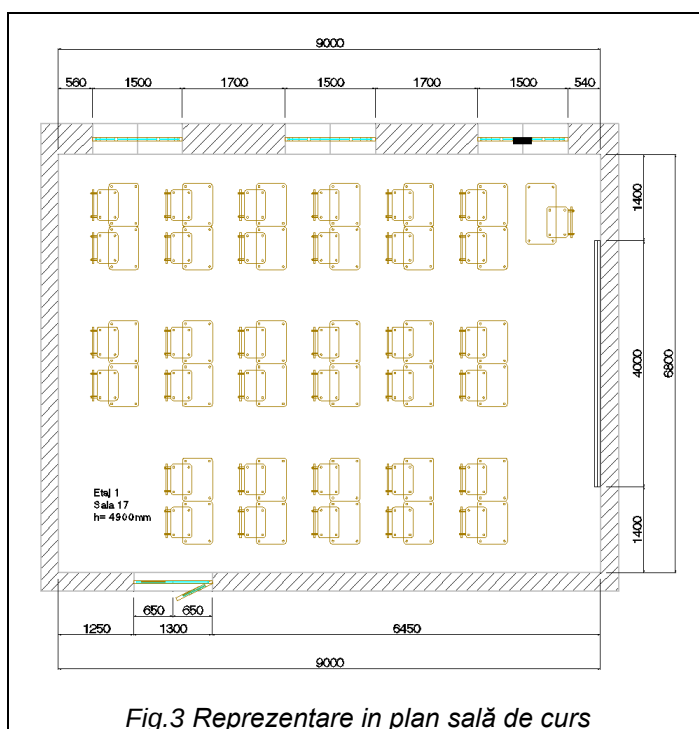


Fig.3 Reprezentare in plan sală de curs

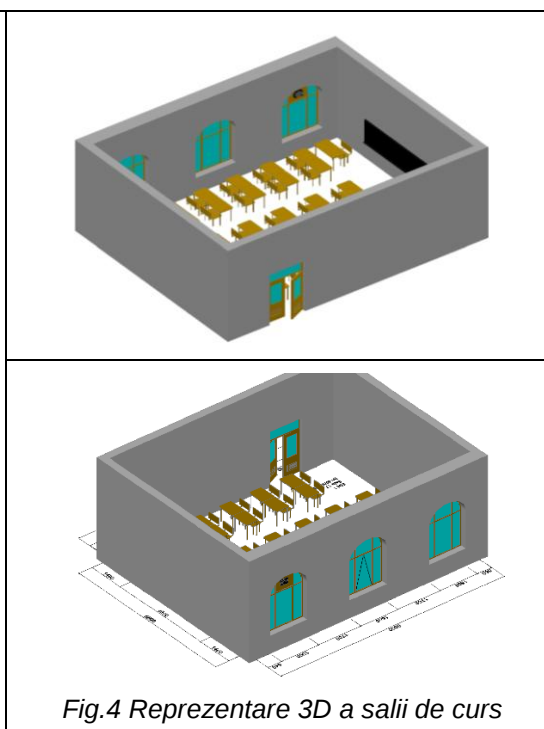


Fig.4 Reprezentare 3D a salii de curs

2.4.1.3 Reprezentare sistem de ventilare amplasat în sala de clasă

A. Descriere

Sistemul de ventilare este amplasat în sala de clasă descrisă anterior, în latura opusă catedrei și peretele exterior. Deoarece clădirea educațională este încadrată în patrimoniu național, orice gaurire a pereților a fost strict interzisă, de aceea s-a optat pentru eliminarea a două ochiuri de fereastră și scoaterea tubulaturilor prin acestea.

B. Plan

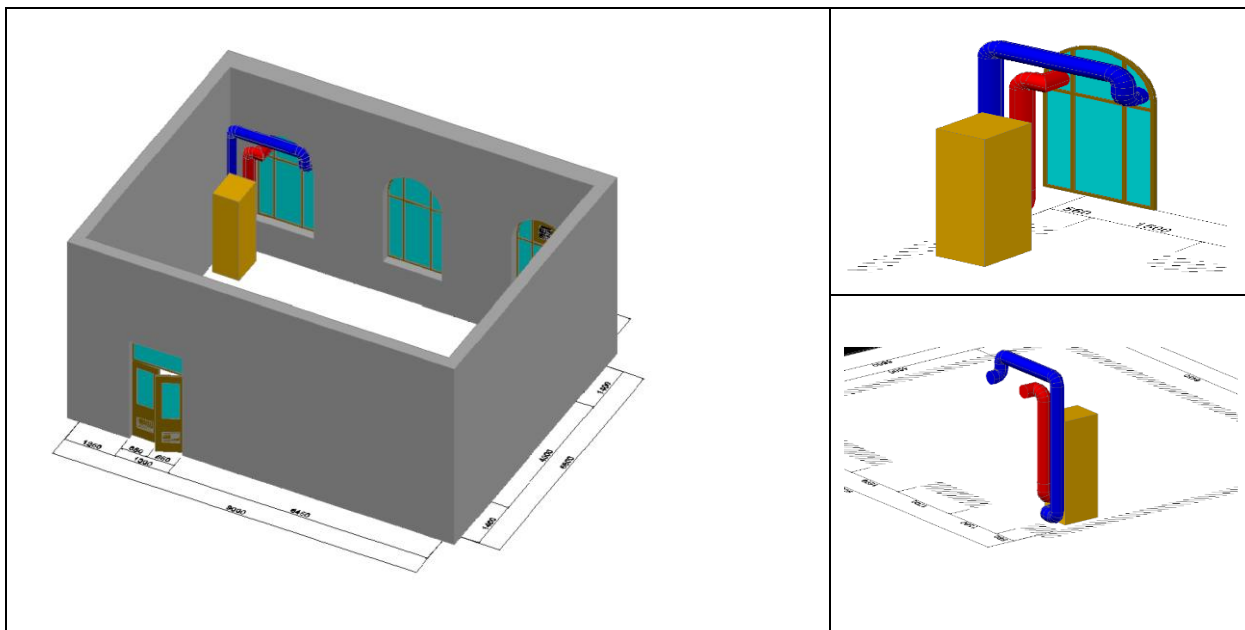


Fig 5 Reprezentare 3D a amplasării sistemului de ventilare in sala de clasă

2.4.1.4 Etape proiectare, manufacturare și montaj sistem de ventilare

A. Montaj unitate de recuperare căldură



Fig.6 Amplasarea și montarea recuperatorului de căldură și a tubulaturilor de ventilație

B. Interfata de control web și înregistrare

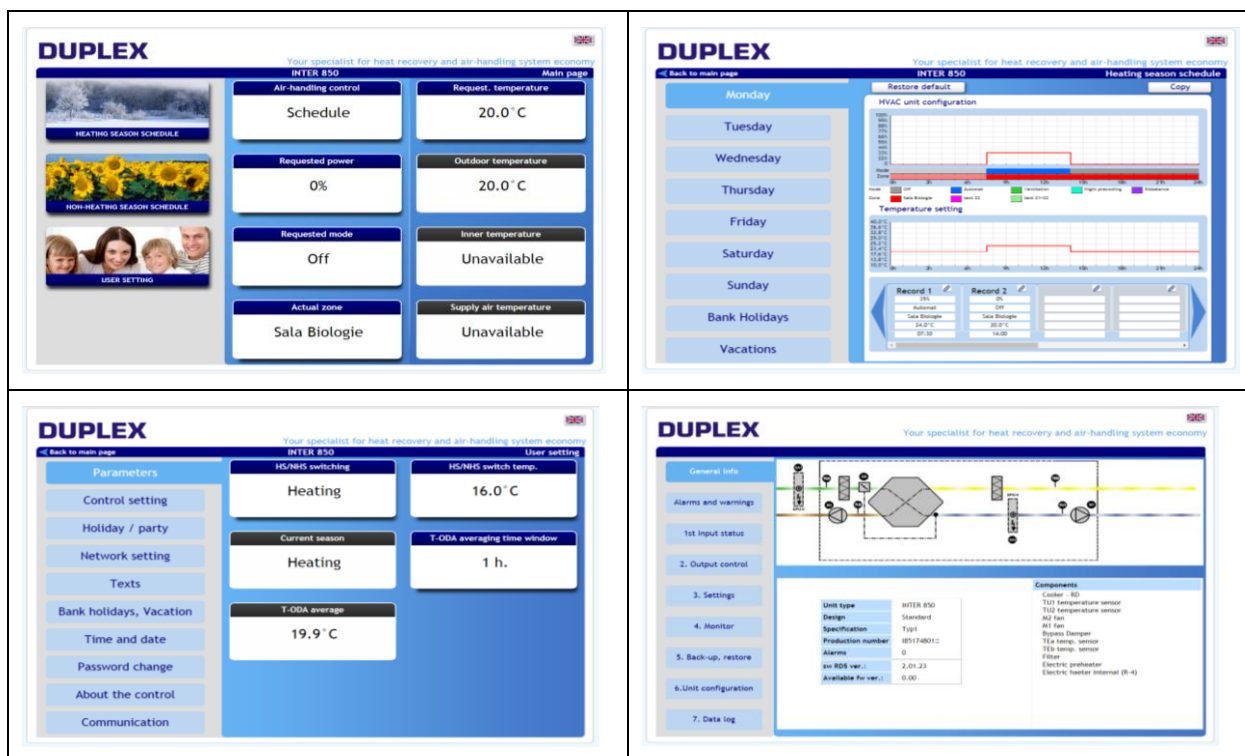


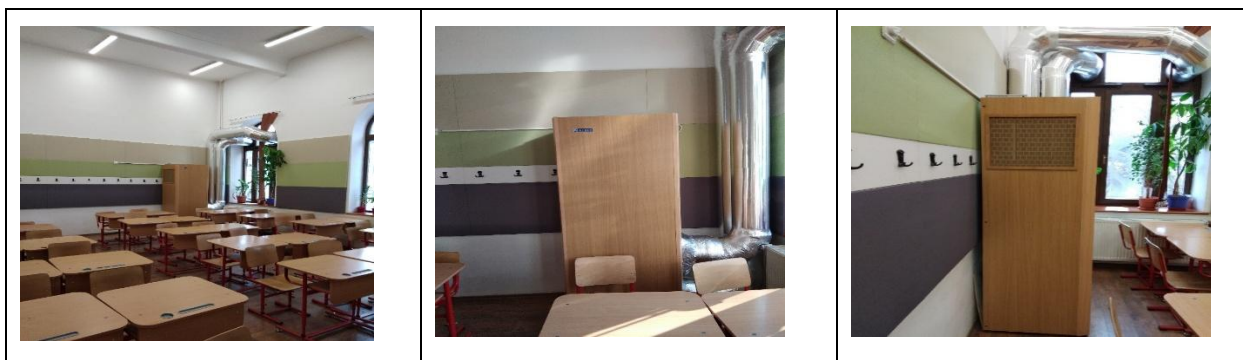
Fig.7 Interfață de control a web-browser-ului

2.4.1.5 Rezultat final montare sistem

A. Descriere

Sistemul de ventilare este un ansamblu constituit dintr-un agregat de ventilare tip dulap dotat cu recuperator de căldură. Acesta este amplasat în spatele clasei de curs pe peretele exterior. Aerul viciat este aspirat prin grila din partea laterală dinspre coridor iar aerul proaspăt tratat și filtrat este introdus în încăpere pe la partea superioară dinspre ferestre. Acestui sistem îi sunt atașate tubulaturile de introducere aer proaspăt și evacuare aer viciat. Tubulaturile sunt de tip spiro, din tabla zincată. Tubulaturile au fost izolate cu elastomet cu protecție mecanică la exterior. Tubulatură de aer proaspăt are grosimea izolației de 40 mm iar tubulatura de evacuare are grosimea izolației de 10 mm. Sistemul de ventilare a fost ancorat de peretele de rezistență vecin împotriva răsturnării în caz de cutremur.

B. Imagini reprezentative



2.4.1.6 Rezultate măsurări

A. Analiza debitelor de aer introdus și evacuat

a) Descriere

Pentru a asigura o concentrație de CO₂ conform normelor, este necesar să se introducă aer proaspăt și să se evacueze cel viciat în funcție de cantitatea de CO₂ generată. Acest sistem de ventilare are control automat al turațiilor ventilatoarelor în funcție de concentrația de CO₂. În aceste sens, pentru a putea determina debitele de aer în funcție de turația ventilatoarelor (asa cum ne arata în softul unității de ventilare) a fost necesară determinarea caracteristici ventilatoarelor (debite de aer în funcție de turația motoarelor). Debitele de aer au fost măsurate cu toate tubulaturile, grilele, filtrele (noi) montate, adică sistemul de ventilare finalizat și pus în funcțiune. Valorile înregistrate le regăsim în tabelul de mai jos.

DEBITE DE AER UNITATE CU RECUPERATOR DE CĂLDURĂ			
INTRODUCERE		EVACUARE	
Turație ventilator [%]	Debit [m ³ /h]	Turație ventilator [%]	Debit [m ³ /h]
10	50	10	50
20	118	20	66
30	221	30	148
40	324	40	251
50	431	50	321
60	531	60	485
70	628	70	495
80	721	80	560
90	820	90	654
100	857	100	713

Tabel 1: Valori înregistrate debite de aer în funcție de turație (introducere și evacuare)

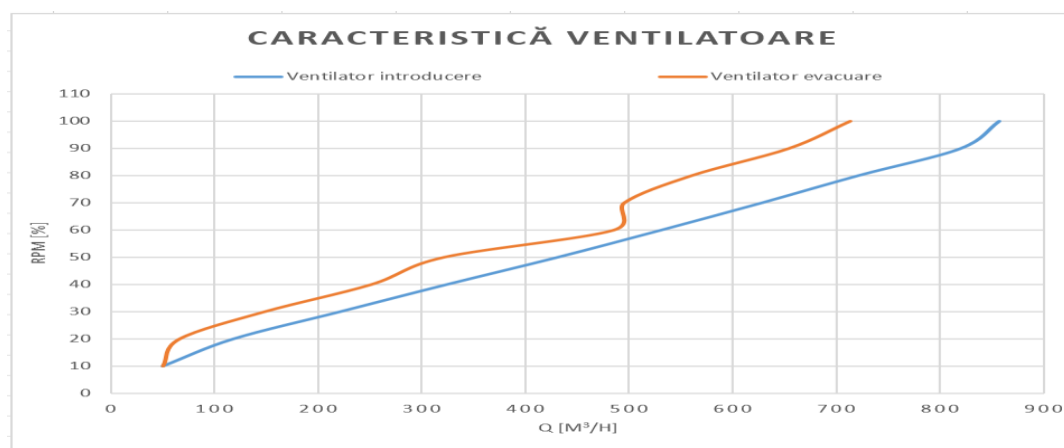


Fig.8 Caracteristica ventilatoare functie de turatia motoarelor

b) Concluzii:

Deși motoarele sunt identice se observă că atât pe circuitul de aer introdus cât și pe cel evacuat, dependența dintre turația ventilatoarelor și debitul rezultat nu sunt identice, asta înseamnă ca pe circuitul de aer evacuat sunt mai multe pierderi de presiune decât pe circuitul de aer proaspăt deși, din punct de vedere elemente exterioare montate ce induc pierderi de presiune, sunt mai multe pe circuitul de aer proaspăt decât pe circuitul de aer evacuat. O remarcă importantă o reprezintă construcția unitații, adică pe circuitul de evacuare aer, înainte de recuperatorul de căldură, este redusă semnificativ secțiunea și din punctul meu de vedere, datorită acestui fapt este datorată pierderea de presiune suplimentară. Debitul maxim de aer introdus este de $Q_{int} = 857 \text{ m}^3/\text{h}$ iar debitul maxim de aer evacuat este $Q_{evac} = 713 \text{ m}^3/\text{h}$. Datorită acestei necorelări între debitul de aer introdus și cel evacuat a fost nevoie de o corecție din soft în ceea ce privește debitul de aer introdus astfel încât debitele să fie egale.

B. Eficiență recuperator de căldură

a) Descriere

Pentru determinarea eficienței recuperatorului de căldură s-au pornit motorul de introducere și de evacuare la treapta maximă (debite egale) și apoi s-au monitorizat timp de 30 minute principalii parametri necesari determinării eficienței recuperatorului de căldură. Aceștia sunt: temperatură introducere, temperatură exterioară, temperatură aer evacuat din încăperea, temperatură evacuare aer după recuperator de căldură.

S-a utilizat următoarea relație din literatura de specialitate pentru determinarea eficienței termice:

$$\varepsilon = \frac{t_{SUP} - t_{ODA}}{t_{ETA} - t_{ODA}} [-]$$

Unde:

- ε = eficiență recuperator de căldură
- t_{SUP} = temperatură introducere în sala de clasă
- t_{ODA} = temperatură exterioară
- t_{ETA} = temperatură evacuare din sala de clasă

Date, time	T-ODA - outdoor temperature	T-SUP - supply room temperature	T-ETA - exhaust room temperature	T-EHA - exhaust HR temperature	η
	°C	°C	°C	°C	[-]
20.3. 18:36:43	6.3	18.9	24.1	12.3	0.71
20.3. 18:40:03	3	20.2	24.6	8.3	0.80
20.3. 18:45:33	2.1	20.2	24.5	6.1	0.81
20.3. 18:50:03	2	20.1	24.4	5.5	0.81
20.3. 18:50:13	2.1	20.1	24.4	5.5	0.81
20.3. 18:55:23	1.6	19.9	24.4	5	0.80
20.3. 19:00:03	1.7	19.8	24.3	4.8	0.80
20.3. 19:05:03	1.3	19.6	24.2	4.5	0.80

Tabel 2 Parametrii determinare eficiența schimbator de căldură

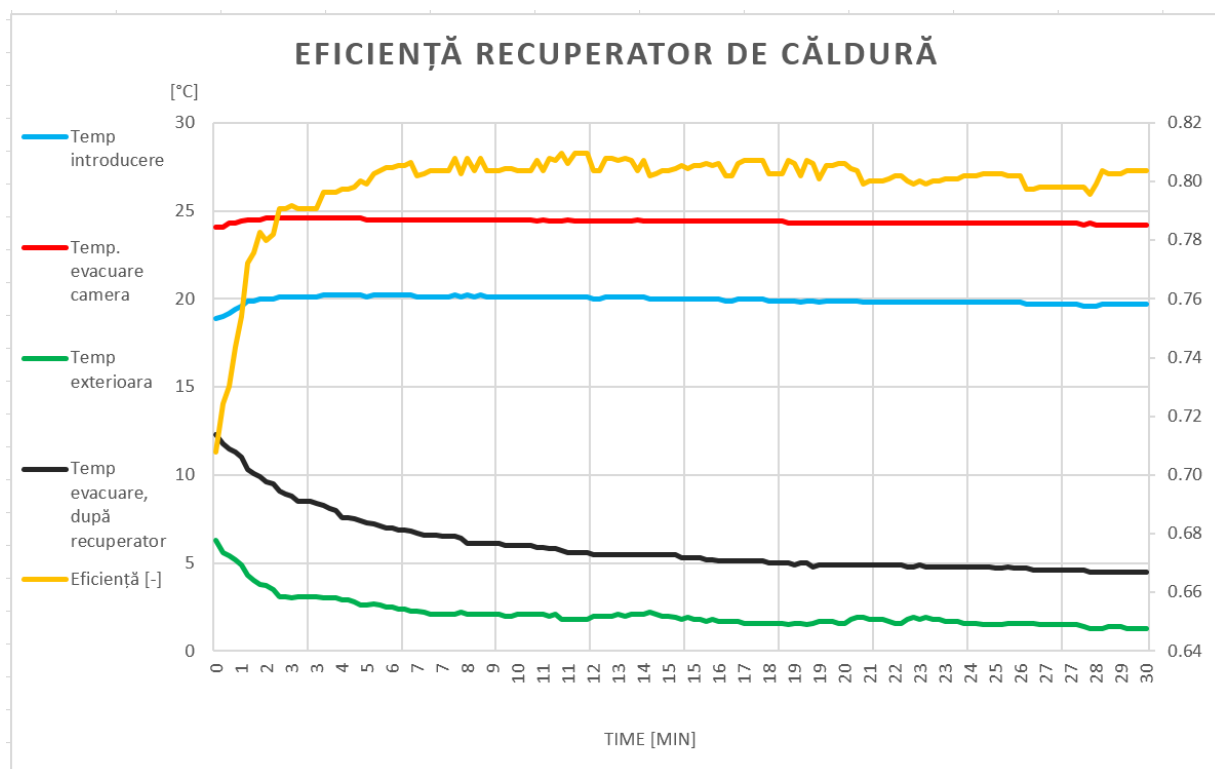


Fig.9 Evoluție eficiență funcție de temperaturi

b) Concluzii:

Pe toată durata măsurărilor, evoluția temperaturilor a fost aproximativ constantă. În urma măsurărilor efectuate s-a tras concluzia că eficiența medie a recuperatorului de căldură este de $\mu = 0.80$ [-] la aceste temperaturi de lucru și pentru o zi de iarnă caracteristică României.

C. Distribuție parametrilor de confort termic interior

a) Descriere

S-a analizat evoluția principalilor parametri de confort pe parcursul unei zile complete de ore de curs. Programul orelor de curs a început la ora 08:00, cu o durată de 50 minute și o pauză între acestea de 10 minute. Finalul orelor de curs este la ora 13:50. Unitatea de ventilare este programată să funcționeze după un program bine stabilit, în situația de față, start-ul se face la ora 07:00 și se termină la ora 14:00. Se poate observa din tabelul X și figura X, că: temperatura aerului în interiorul camerei a avut o valoare minimă de $t_{\min} = 23.7^{\circ}\text{C}$, o valoare maximă de $t_{\max} = 25.2^{\circ}\text{C}$ și o valoare medie de $t_{\text{medie}} = 24.6^{\circ}\text{C}$; temperatura aerului introdus în interiorul camerei a avut o valoare minimă de $t_{\min} = 19.1^{\circ}\text{C}$, o valoare maximă de $t_{\max} = 21.8^{\circ}\text{C}$ și o valoare medie de $t_{\text{medie}} = 20.3^{\circ}\text{C}$; temperatura aerului exterior a avut o valoare minimă de $t_{\min} = -2.2^{\circ}\text{C}$, o valoare maximă de $t_{\max} = 0.7^{\circ}\text{C}$ și o valoare medie de $t_{\text{medie}} = 0.8^{\circ}\text{C}$; temperatura aerului evacuat, după schimbătorul de căldură a avut o valoare minimă de $t_{\min} = 3.1^{\circ}\text{C}$, o valoare maximă de $t_{\max} = 7.5^{\circ}\text{C}$ și o valoare medie de $t_{\text{medie}} = 5^{\circ}\text{C}$; debitul introdus de aer proaspăt a avut o valoare minimă de $Q_{\min} = 285 \text{ m}^3/\text{h}$, o valoare maximă de $Q_{\max} = 651 \text{ m}^3/\text{h}$ și o valoare medie de $t_{\text{medie}} = 502 \text{ m}^3/\text{h}$; debitul evacuat de aer viciat a avut o valoare minimă de $Q_{\min} = 251 \text{ m}^3/\text{h}$, o valoare maximă de $Q_{\max} = 559 \text{ m}^3/\text{h}$ și o valoare medie de $t_{\text{medie}} = 435 \text{ m}^3/\text{h}$; nivelul de CO_2 a avut o valoare minimă de $\text{CO}_{2_ \min} = 460 \text{ ppm}$, o valoare maximă de $\text{CO}_{2_ \max} = 1300 \text{ ppm}$ și o valoare medie de $\text{CO}_{2_} = 1049 \text{ ppm}$;

Unde:

- IN 1 = concentrație CO_2
- T-ODA = temperatura exterioară
- T-SUP = temperatură aer proaspăt introdus
- T-ETA = temperatură aer viciat evacuat
- T-EHA = temperatură aer evacuat după recuperatorul de căldură
- M1 = debit introdus de aer proaspăt
- M2 = debit evacuat de aer viciat
-

Mărime	IN1 Input	T-ODA	T-SUP	T-ETA	T-EHA	M1 Output	M2 Output
	ppm	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	m^3/h	m^3/h
Minim	460	-2.2	19.1	23.7	3.1	285.89	251
Maxim	1300	0.7	21.8	25.2	7.5	651	559
Medie	1049	-0.8	20.3	24.6	5.0	502	435

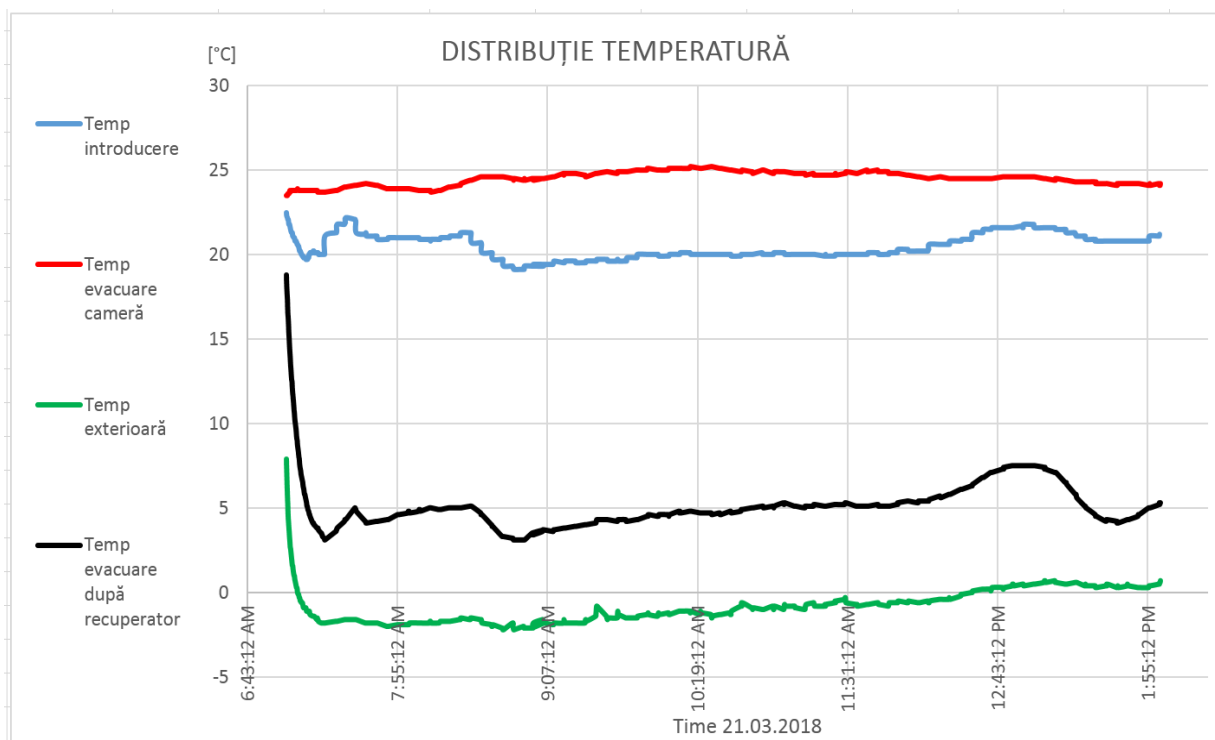


Fig.10 Distribuție temperaturi pe durata întregului program

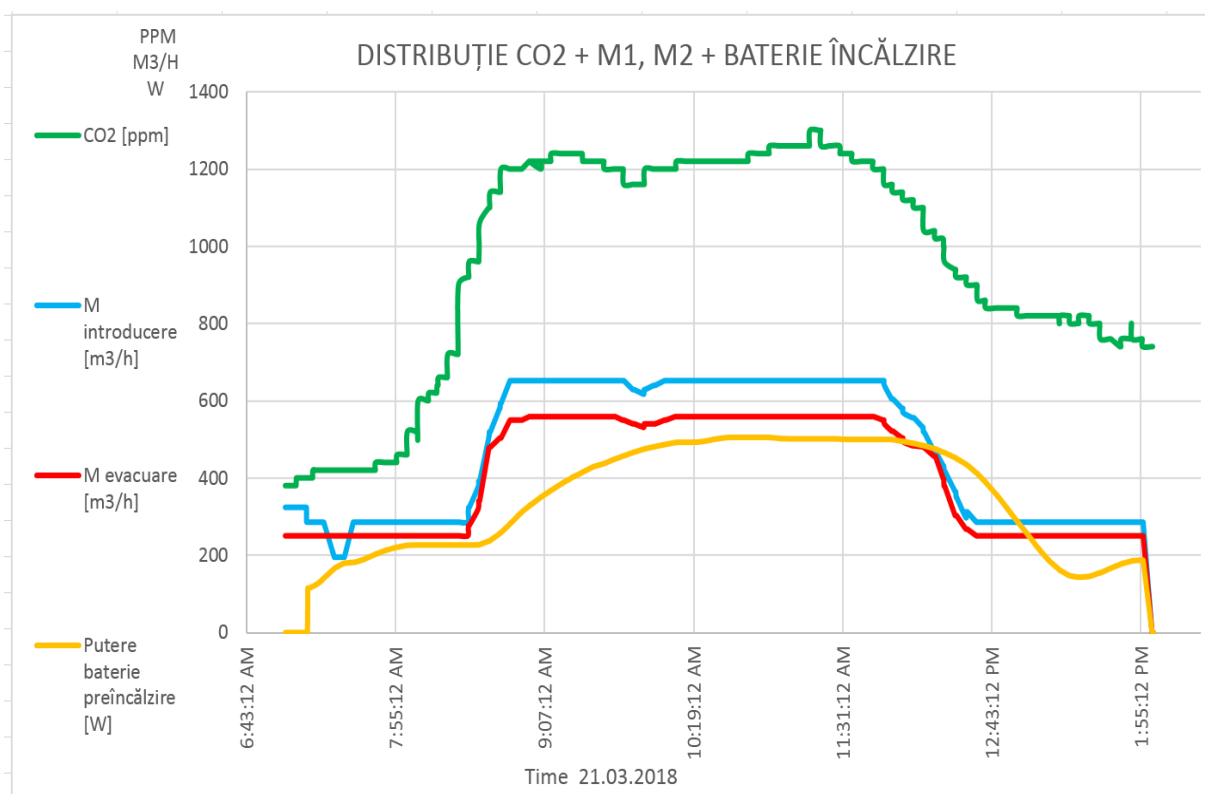


Fig.11 Distribuție valori CO₂ + debit de aer introdus și evacuat + baterie de încălzire

b) Concluzii

Se observă că pe toată perioada programului de curs, valorile de temperatura interioară din sala de curs analizată au fost relativ constante în ciuda faptului că aerul proaspăt a avut o valoare mai scăzută a temperaturii introduse în corelare cu debitul ridicat. Acest lucru se datorează în primul rând robineților cu cap termostatic montați pe radiatoarele sălii de curs și în al doilea rând temperaturii reglate a aerului proaspăt, introdus de unitatea de ventilare, toate raportate cu numărul de elevi (degajări de căldura produse de aceștia).

În ceea ce privește debitul de aer proaspăt introdus, valoarea maximă este de $651 \text{ m}^3/\text{h}$ raportat la un număr de 26 persoane (25 elevi + 1 cadru didactic) = $25 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{persoană}$ (a reieșit aceeași valoare recomandată de norme pentru a menține un nivel optim al concentrației de CO_2). Din aceste rezultate tragem concluzia că unitatea de ventilare poate menține automat un debit de aer proaspăt și o temperatură, în raport cu necesarul interior.

Poluantul principal monitorizat și controlat, concentrația de CO_2 , a avut o valoare relativ constantă pe toată durata orelor de curs având valori ale concentrației de $\text{CO}_2 = 1200 \text{ ppm}$. De menționat este faptul că sistemul a fost programat să mențină la interior o valoare maximă a $\text{CO}_2 = 1200 \text{ ppm}$ pe toată durata orelor de curs. Această valoare (setpoint) se poate modifica după voia bunului plac, însă din considerente economice s-a ales această valoare de testare a unității de ventilare (se poate observa disponibilitatea unității din debitul de aer introdus).

Datorită temperaturilor scăzute (negative), sistemul este dotat cu baterie de preîncălzire, pentru evitarea înghețării schimbătorului de căldură și o baterie de reîncălzire pentru introducerea aerului proaspăt la temperatura de setpoint. Se poate observa din imaginea cu distribuția de temperaturi ca în perioada testelor temperatura exterioară a fost negativă, de aceea bateria de preîncălzire a funcționat la capacitate maximă ($P_{\text{preîncălzire}} = 572\text{W}$).

În concluzie, sistemul de ventilare analizat este capabil să mențină atât o concentrație de CO_2 constantă cât și o temperatură de confort interioară pe întreg sezonul toamnă-primăvară. În sezonul cald i se poate monta o baterie de racire pentru menținerea temperaturii.

D. Analiza concentrației de Radon

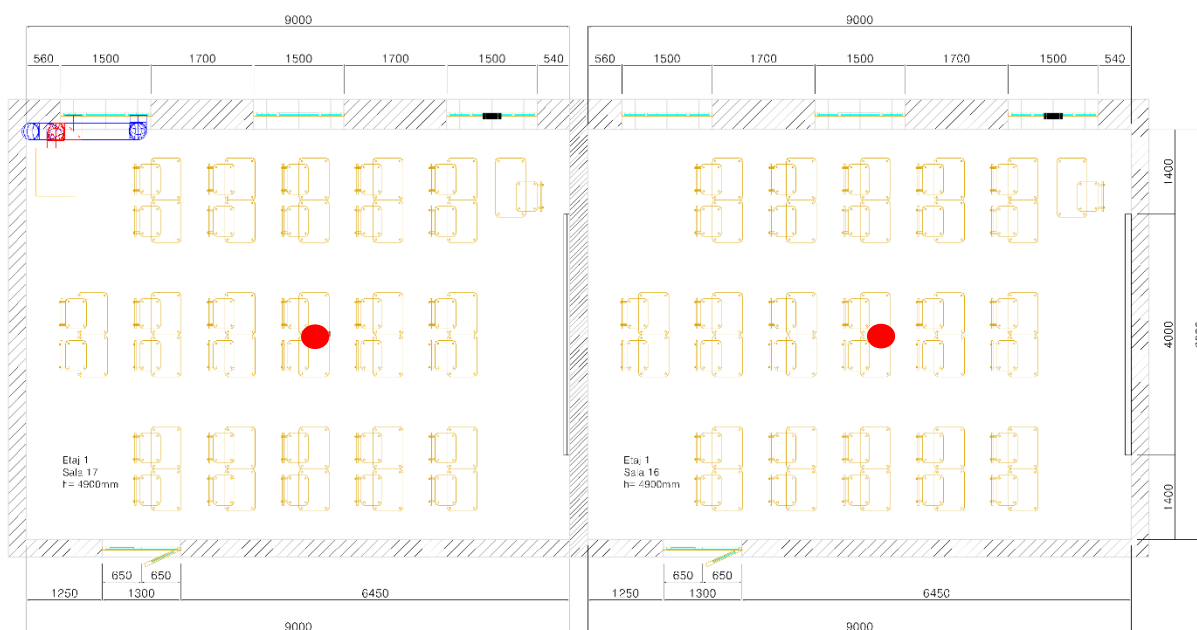
a) Descriere

Radonul, este un gaz radioactiv provenit din dezintegrarea uraniului (uraniu se dezintegrează în Radium și apoi în Radon). Acesta se găsește natural în sol în diverse concentrații. Materia primă a materialelor de construcții provine de cele mai multe ori din sol, rezultă că dacă zona de unde a fost extrasă materia primă pentru materialele de construcții este contaminată și materialele de construcții la rândul său vor fi contaminate. S-au făcut numeroase studii la nivel național și internațional referitoare la Radonul în școli și s-au găsit un nivel de radon peste limitele recomandate (cum a fost și în cazul Liceului Anghel Saligny, studiu realizat anterior la testarea sistemului de ventilare cu răcitor evaporativ și baterie electrică).

În Liceul Mihai Viteazul, am efectuat o astfel de măsurătoare a concentrației de Radon în sala cu sistem de ventilare având recuperator de căldură și sala vecină (analizată ca sală de referință). Punctele de măsură au fost luate în mijlocul sălii de curs, la o înălțime de aproximativ 60 cm (la partea inferioară a băncii). S-au făcut înregistrări timp de 5 zile consecutive, program normal de lucru, cu înregistrări având un pas de timp de 1 ora. Măsurările s-au efectuat în ambele săli de clasă, în paralel, cu două detectoare active de Radon.



Fig.12 Etape montare detectori activi de Radon



● Pn – puncte de măsură

Fig.13 Puncte de măsură nivel de Radon

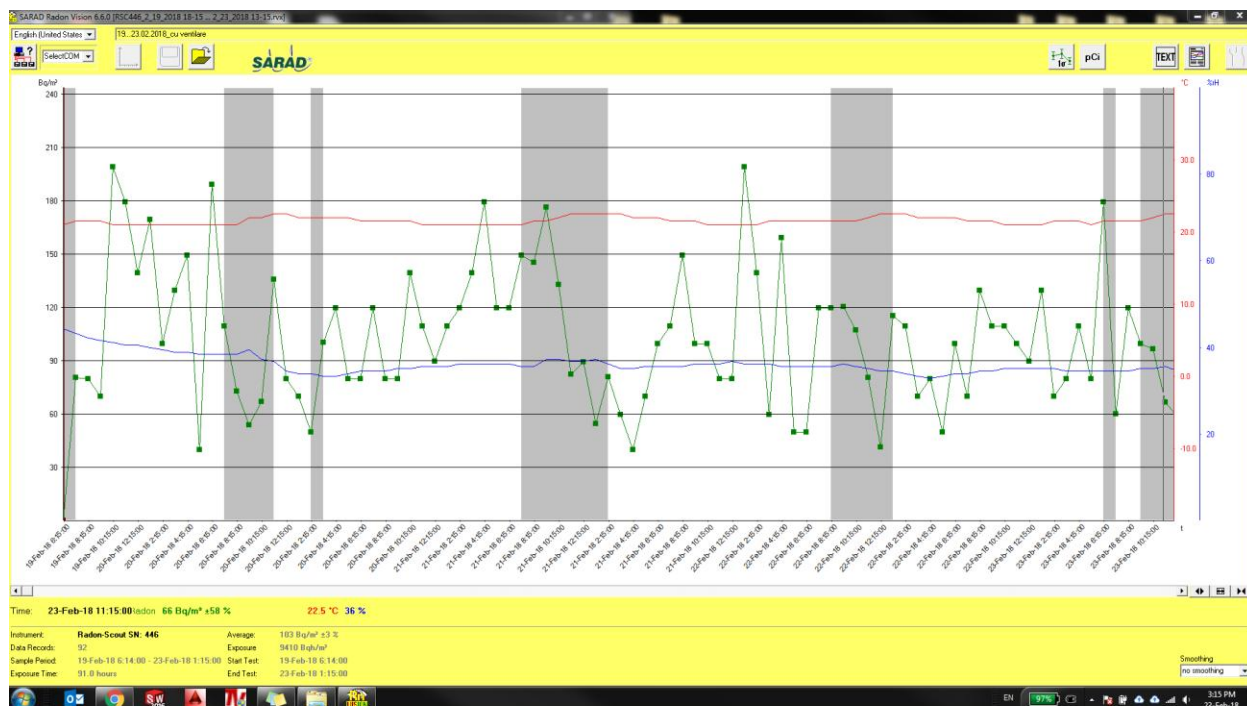


Fig.14 Evoluție nivel Radon în sala cu sistem de ventilare

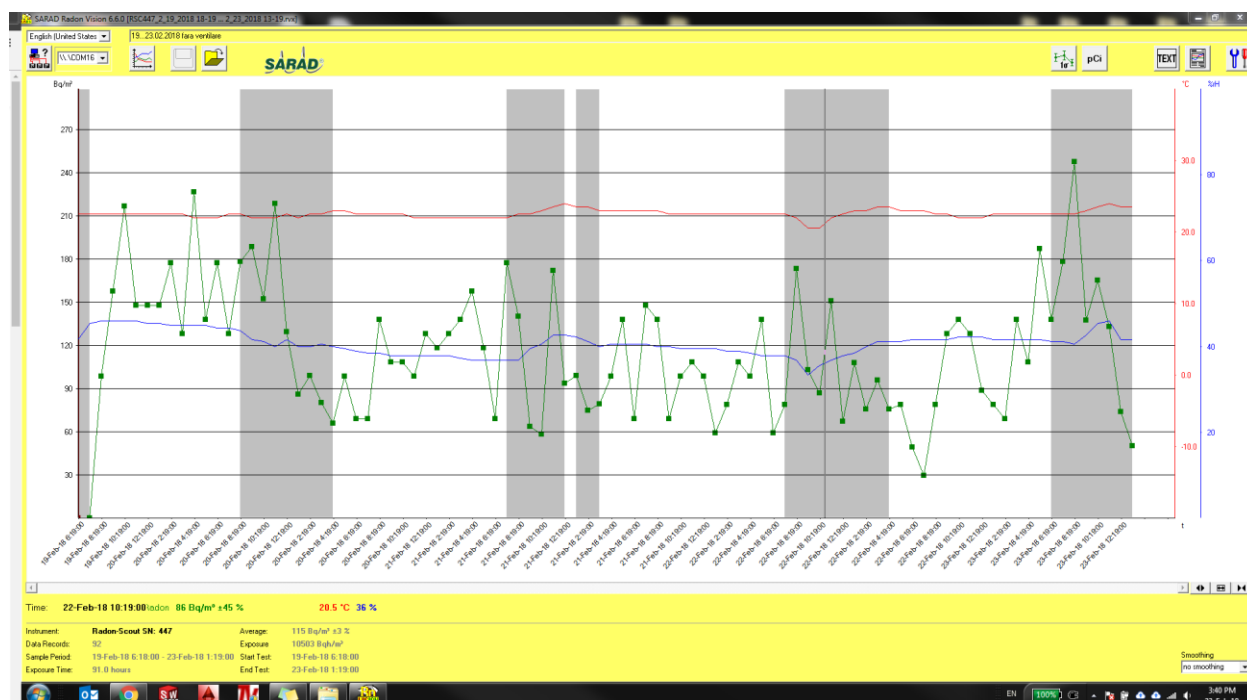


Fig.15 Evoluție nivel Radon în sala fără sistem de ventilare

b) Concluzii:

În urma măsurărilor făcute, se observă că: în sala cu sistem de ventilare valoarea medie a concentrației de Radon pentru saptamana eșantion este de 103 Bq/m^3 , iar pentru sala fără sistem de ventilare valoarea medie a concentrației de Radon este 115 Bq/m^3 . Valorile medii înregistrate în prezentul studiu, nu depășesc limita recomandată de norme, de a fi peste valoarea de 300 Bq/m^3 .

E. Analiza curenților de aer la nivelul ocupanților

a) Descriere

Un alt parametru care influențează starea de confort a ocupanților este viteza medie a aerului. Conform Normativului I5/2011 secțiunea 4.1.12, viteza medie a aerului trebuie să se încadreze între anumite valori limită în funcție de viteza medie și de temperatura aerului. În tabelul de mai jos regăsim extrasul din normativ cu valorile limită ale vitezei cu temperatura.

Temperatura locală a aerului T_a °C	Domeniul tipic m/s
22	de la 0.11 la 0.18
24	de la 0.13 la 0.21

Tablel. Viteze medii recomandate pentru mișcarea aerului în încăperi conform I5/2011

Măsurările de determinare a valorilor medii de viteză și temperatură s-au făcut în nouă puncte în sala de clasă, răspândite simetric în zonele de interes, conform figurii de mai jos, la nivelul capului ocupanților (cca. 80 cm. față de sol). În fiecare punct în parte s-a măsurat cu un pas de 1 secundă timp de 30 secunde viteza și temperatura la 3 debite de aer introdus diferite având valorile 450, 650 și 850 m³/h. Aceste valori înregistrate pentru fiecare punct în parte au fost mediate aritmetic și a rezultat valoarea în punctul respectiv. Aceste valori înregistrate le regăsim în tabelul de mai jos.

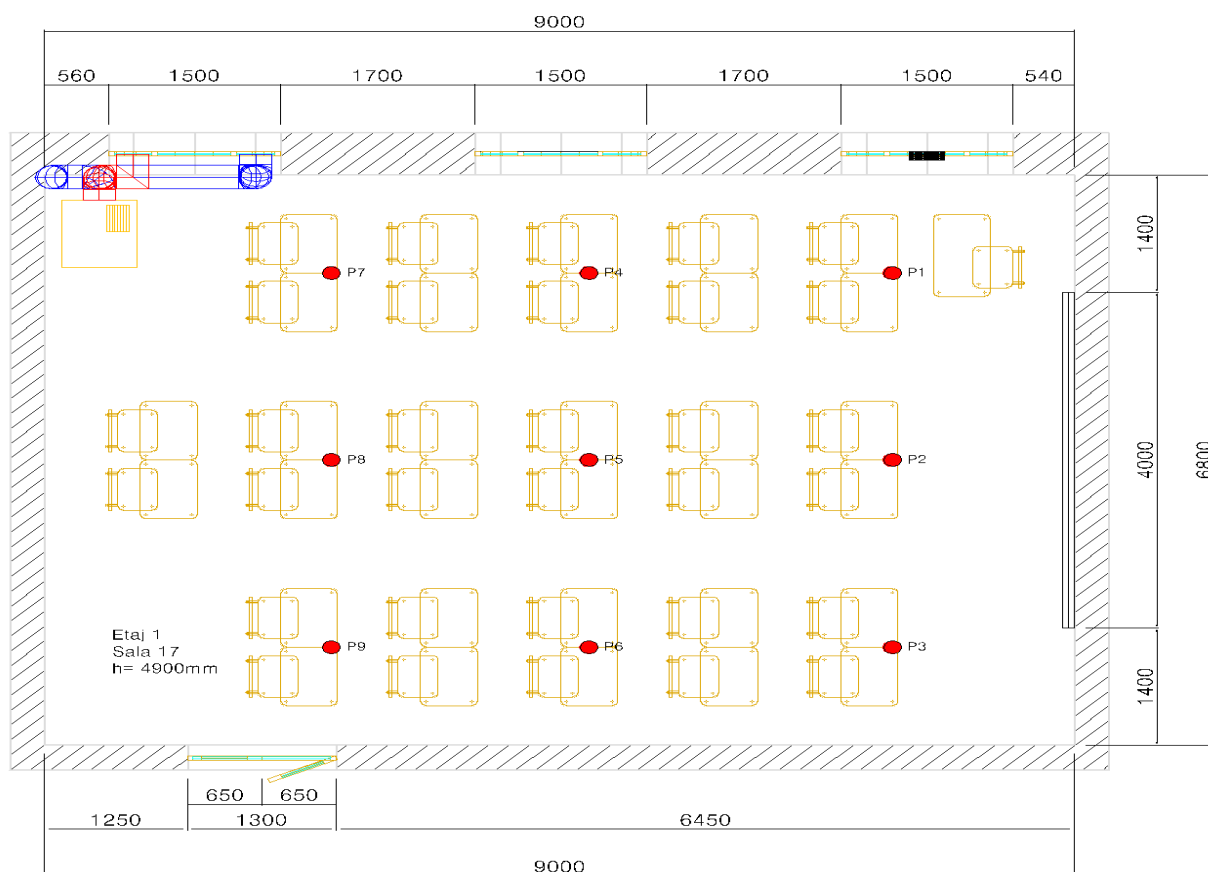


Fig.16 Puncte de măsură viteze de aer la nivelul ocupanților

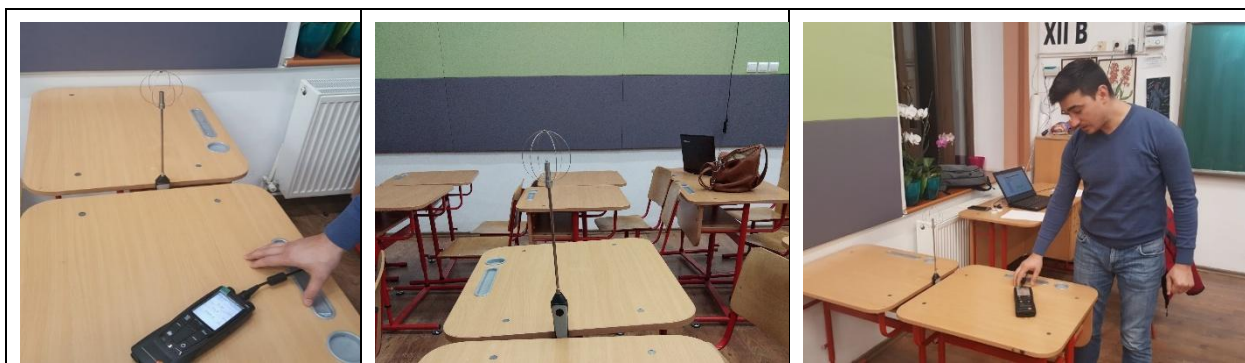


Fig. 17 Poze masurari viteze medii de aer la nivelul ocupanților

Nr. pct.	Q [m³/h]	v [m/s]	t [°]
1	850	0.22	22.6
	650	0.19	22.6
	450	0.17	22.7
2	850	0.17	22.7
	650	0.15	22.8
	450	0.14	22.8
3	850	0.10	22.9
	650	0.07	22.9
	450	0.08	22.9
4	850	0.31	22.8
	650	0.22	22.7
	450	0.19	22.6
5	850	0.19	22.8
	650	0.08	22.9
	450	0.10	22.9
6	850	0.10	22.9
	650	0.07	23.0
	450	0.16	22.9
7	850	0.15	22.7
	650	0.22	22.7
	450	0.17	22.7
8	850	0.20	22.7
	650	0.16	22.7
	450	0.12	22.9
9	850	0.12	22.7
	650	0.11	22.8
	450	0.10	22.8

Tabel Valori mediate viteză și temperatură în funcție de debitul de aer introdus

b) Concluzii:

Deoarece valorile medii de temperatură înregistrate, se încadrează între valorile impuse în normativ, s-a considerat că pentru temperaturile medii înregistrate, domeniul tipic recomandat de viteze sa fie de la 0.12 la 0.19 m/s. În cazul punctelor de măsură nr.4 și nr. 7 (cele mai apropiate de unitatea de ventilare) la debitul nominal de 650 m³/h, au fost depășite vitezele recomandate, în zona respectivă procentul de nemulțumiri este mai mare de 20% (interpretare conform normativ I5/2011). La debitul maxim de 850 m³/h, punctele 1, 4 și 8 depășesc valorile maxime recomandate. De precizat că temperatura exterioară a fost $t_{\text{exterior}} = 2^{\circ}\text{C}$ și fereastra din mijloc (în vecinătatea punctului 4) nu are radiator sub aceasta (putând să influențeze semnificativ curenții de aer convectivi).

F. Analiza propagării zgomotului

a) Desciere

Principalii factori care afectează zgomotul în interiorul unei școli sunt sursele de zgomot din interior și zgomotele din exterior. Din punct de vedere al zgomotului de interior, sistemele de ventilare sunt principala sursă de zgomot dar și activitatea umană. Pe de altă parte, zgomotele din exterior care afectează mediul interior sunt cele de la transport și alte activități umane din exterior. Numeroase studii au arătat că o valoare prea mare a nivelului de presiune acustică poate diminua capacitatea elevilor de învățare și se reduce nivelul de concentrare. Prin urmare este esențial menținerea nivelului acustic la o valoare optimă. Noul standard de acustică din clasă (ANSI S12.60-200217) recomandă un nivel de presiune acustică global maxim de 35 dB(A) și o reverberație maximă de până la 1 sec. Această valoare de 35 dB(A) ne asigură că nivelul vocii profesorilor (de obicei 50-65 dBA, în funcție de locația elevului) va fi suficientă pentru a asigura un flux de informații corect între profesor-elev. Printre măsurile de reducere a nivelului de zgomot trebuie folosite materiale bune izolatoare fonic și echipamente HVAC silențioase.

Propunerea și studierea sistemului de ventilare cu recuperare nu poate fi realizată fără un studiu acustic detaliat. Pentru această parte a tezei de doctorat a fost realizată o hartă acustică în interiorul clasei folosind aparatul de măsură Svantek 977 ce poate măsura diferite valori acustice pe frecvențe diferite, afișând rezultatele și în dB(A). Acest sonometru este clasificat în Clasa 1 de precizie.

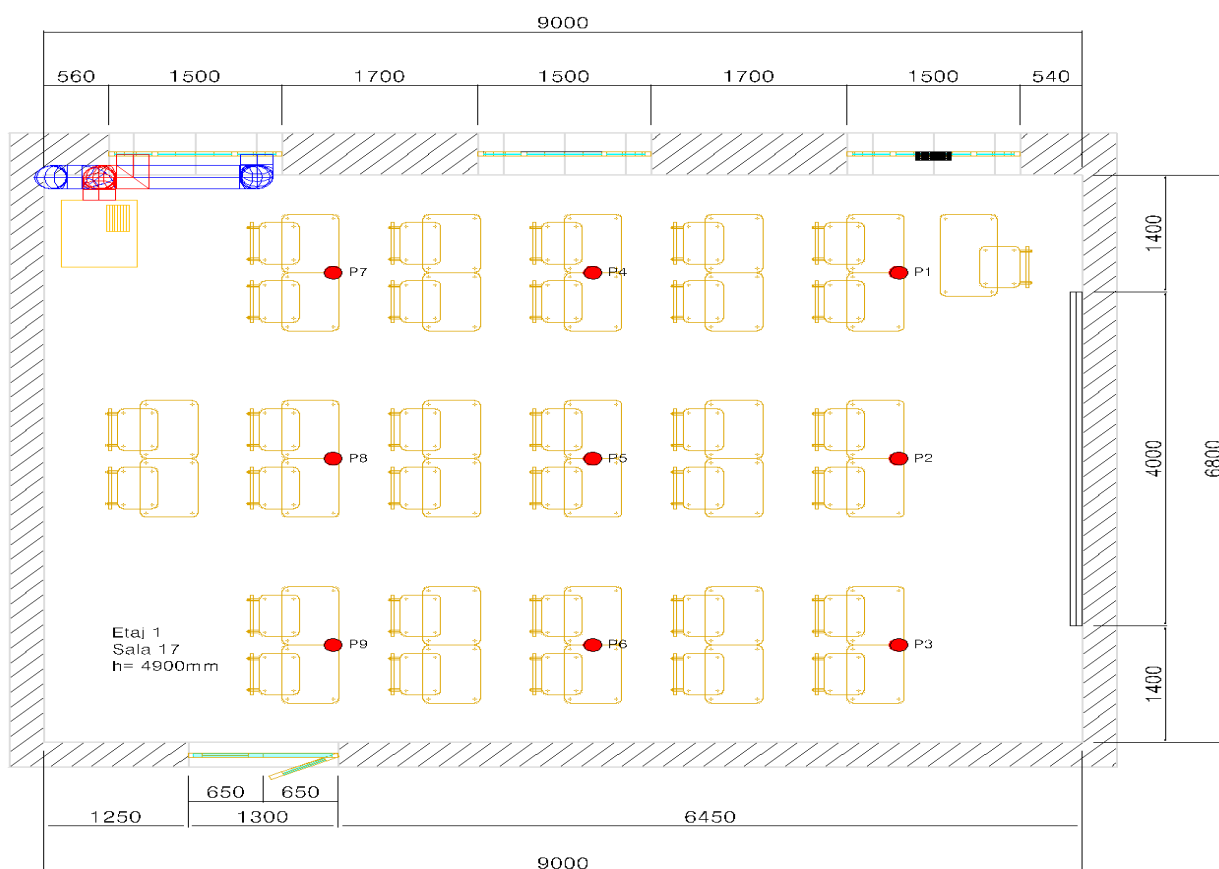


Fig.18 Puncte de măsură sala de clasă

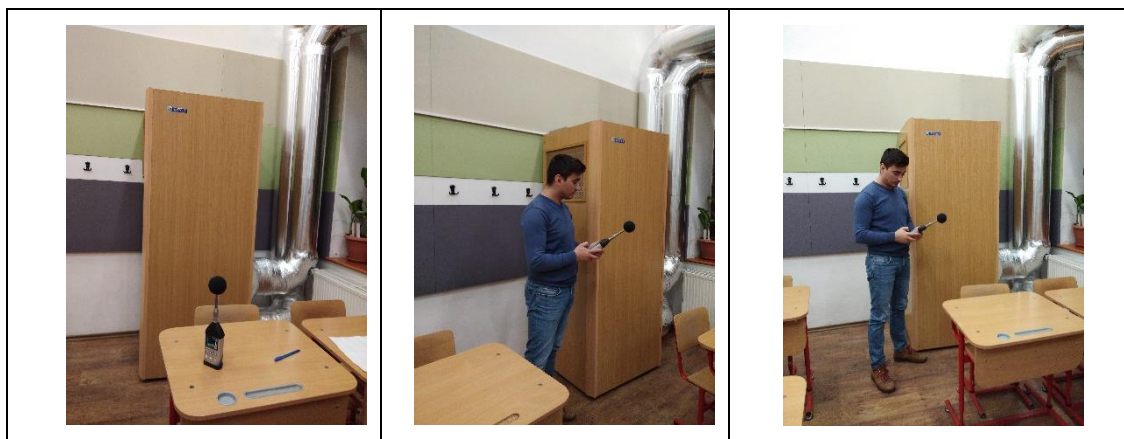


Fig.19 Poze masurari nivel de presiune acustica

Pentru a ajunge la nivelul global de presiune acustică au fost necesare mai multe etape. Prima etapa a fost înregistrarea nivelului de presiune acustică în dB pe frecvențele 31.5 Hz – 8000 Hz folosind analizorul de frecvență. Următorul pas a fost calculul nivelului de presiune echivalent de pe perioada măsurării pentru fiecare frecvență. Al treilea pas a presupus filtrarea nivelului de presiune acustică din dB în dB(A) după care ultima etapă a fost adunarea valorilor de pe frecvență pentru a obține nivelul global. Se poate observa în tabelul de mai jos că au fost realizate mai multe proiecte înregistrate cu sonometrul SVANTEK 977 și valorile L_p global.

Au fost realizate mai multe teste la debite de aer diferite (450, 650, 850 mc/h) în diferite puncte ale sălii (de la punctul cel mai apropiat până la cel mai îndepărtat). Se poate observa din figura de mai jos că valorile cele mai mari le regăsim pentru debitul de 850 m³/h care corespunde la 32 m³/h/pers mult peste valoarea recomandată de 25 m³/h/pers. Acest debit este maximul pe care unitatea îl poate asigura și prin urmare am dorit și analiza acestuia. Valori mari întâlnim în apropierea unității, valori de până la 40.8 dB(A) mult peste norma de 35 dB(A). Îndepărtarea de sursă reduce nivelul de zgomot cu aprox. 2-3 dB(A). Pe de altă parte, debitele care ne interesează și cele care sunt folosite în timpul orei asigură un nivel de presiune acustică sub 35 dB(A), mai exact 31.77 dB(A) la 650 mc/h (25m³/h/pers) sau 25.63 dB(A) – foarte silențios la 450 mc/h (17mc/h/pers).

S-au realizat măsurări la toate debitele de aer ale unității de ventilare la o distanță de 1 metru. Se poate observa din figura de mai jos că nu se mai respectă norma de la un debit de 700 mc/h. Această valoare este superioară debitului de aer necesar asigurării unei calități a aerului optime.

850mc/h
650 mc/h
450mc/h

36.8	38.0	36.6
30.78	31.38	30.5
24.2	24.7	24.4

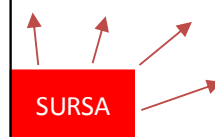
Medie 850mc/h	37.91	dB(A)
Medie 650mc/h	31.77	dB(A)
Medie 450mc/h	25.63	dB(A)

850mc/h
650 mc/h
450mc/h

38.1	37.6	37.3
31.68	32.4	32.9
25.2	27.2	28.6

850mc/h
650 mc/h
450mc/h

40.8	38.5	37.5
33.5	31.7	30.98
27.0	24.9	24.4



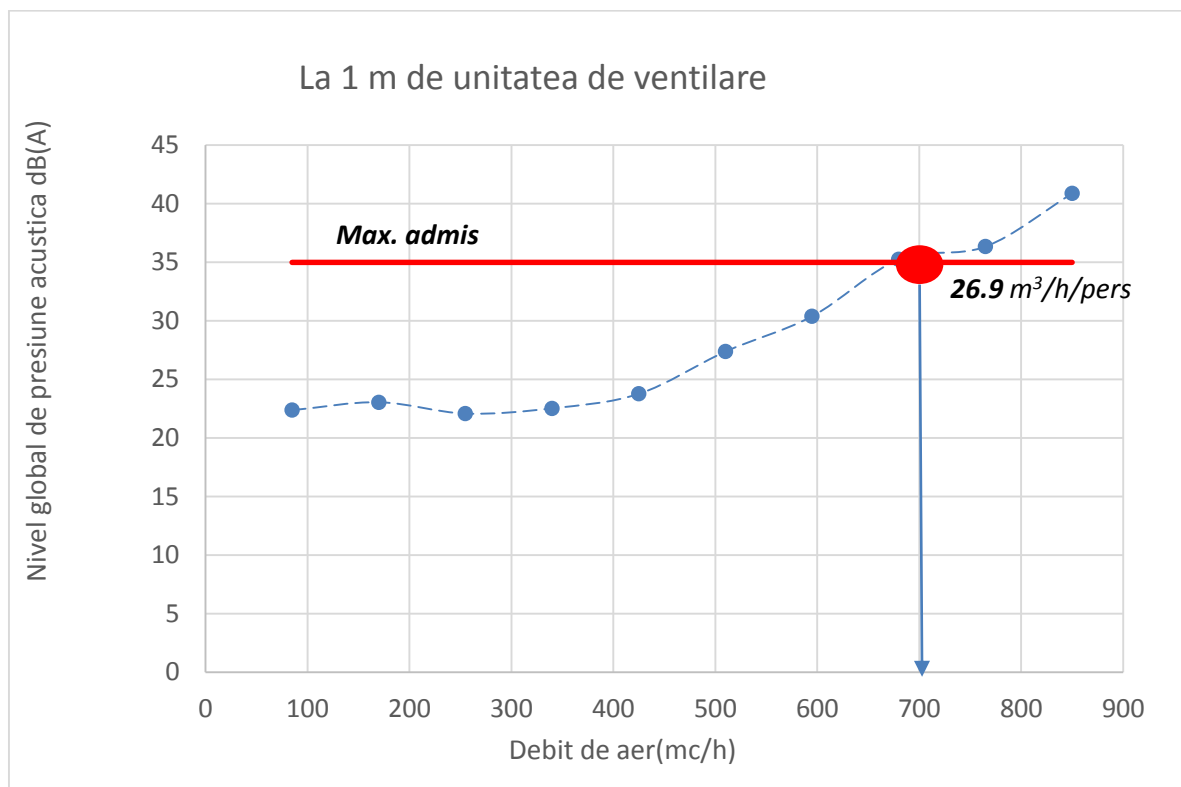


Fig.20. Nivelul de presiune acustica global pentru diferite debite

Analiza pe frecvențe a propagării zgomotului de la unitatea de ventilare ne arată că valorile maxime sunt atinse pentru proiectul 249 (în apropierea unității la debit maxim) la frecvențe de 1000 Hz. Valorile de presiune acustice sunt mai scăzute la frecvențele de 2000 Hz sau 4000 Hz.

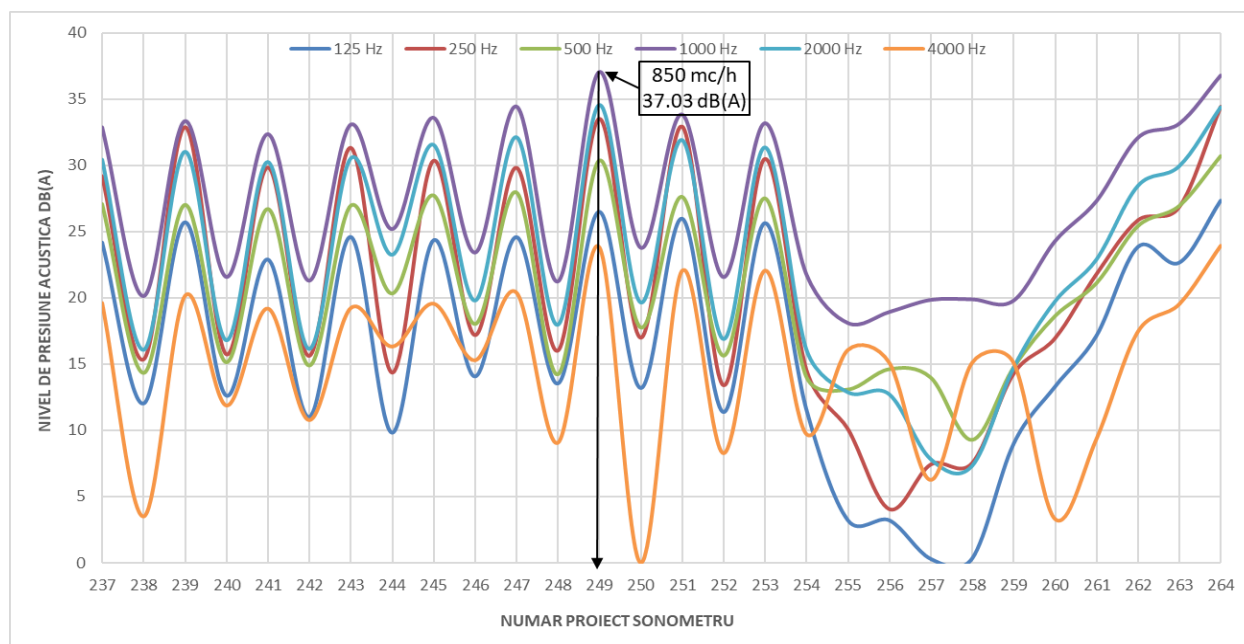


Fig.21 Variatia nivelului de presiune acustica filtrat A pe frecvente

b) Concluzii

S-a putut observa în urma măsurărilor acustice că nivelul de presiune acustică în interiorul sălii de curs este unul acceptabil la debite de până la 650 m³/h. Analiza pe frecvențe a nivelului de presiune acustică a arătat că valorile maxime sunt atinse la frecvența de 1.000 de Hz cu valori mari în apropierea unității de ventilare. O serie de tot au fost necesare pentru calculul nivelului global de presiune acustică începând cu analiza valorilor pe frecvențe în decibeli după care trecerea prin filtrul A și în cele din urmă calculul nivelului global.

Putem concluziona că unitatea de ventilare descentralizată este o soluție corectă și eficientă din punct de vedere acustic pentru că la debitele de aer necesare unei calități aerului superioare valorile de nivel de presiune acustică sunt scăzute și nu interferează cu procesul educațional.

2.5 Analiză economico-financiară

2.5.1 Caracteristici ipotetice de calcul

Analiza economico-financiară s-a efectuat pentru o sală de clasă standard cu o suprafață a pardoselii de $S = 60 \text{ m}^2$ și un volum de $V = 300 \text{ m}^3$; numărul de elevi ce își desfășoară activitatea în sală de clasă este 26 (cu cadrul didactic inclus). Pentru calculul energetic s-a luat în calcul situația cea mai defavorabilă, pe timpul sezonului rece, $t_{\text{ext}} = -10^\circ\text{C}$, $t_{\text{intr}} = 20^\circ\text{C}$, iar perioada de calcul a fost considerată o lună întreagă (23 zile lucrătoare). S-a considerat că toate sistemele de ventilare mecanică sunt funcționale doar în perioadă de ocupare a elevilor în intervalul orar 08:00-14:00 și în zilele normale de lucru/învățătura, Luni – Vineri. În cazul sistemului de ventilare naturală (deschiderea ferestrelor) a fost considerat ca are o funcționare normală (conform regulamentului școlar), să se deschidă ferestrele timp de 10 minute în pauzele dintre orele de curs. Au fost luate în calcul doar consumurile energetice datorate încălzirii aerului (fără curent consumat de motoarele electrice).

2.5.2 Tipuri de sisteme evaluate

Ventilare naturală (prin deschiderea ferestrelor), sistem de ventilare compus din răcitor evaporativ, ventilator reversibil montat în fereastră + grilă de transfer + baterie electrică, sistem de ventilare naturală cu grile higroreglabile + grilă de transfer și în ultimul rând, sistem de ventilare tip dulap cu recuperator de căldură inclus.

2.5.3 Tabele centralizatoare cu rezultate obținute

Tabelul 1. Costuri centralizate instalare și exploatare sisteme de ventilare pentru o luna caracteristică de iarnă.

Nr.crt.	TIP SISTEM VENTILARE	Q [m ³ /h/pers]	COSTURI [Euro cu TVA/lună/clasă]	
			INSTALARE	EXPLOATARE
1	VENTILARE NATURALĂ	7.3	0	11
2	RĂCITOR EVAPORATIV	25	1500	163
3	VENTILATOR + BATERIE ÎNCĂLZIRE	25	295	160
4	GRILE HIGROREGLABILE	8.1	284	12
5	RECUPERATOR DE CĂLDURĂ	25	5300	20

2.5.4 Studiu comparativ amortizare investiție

2.5.4.1 Descriere

Scopul acestui studiu este acela de a determina care este timpul de amortizare a investiției pentru diferite tipuri de sisteme de ventilare. Ca studiul să fie relevant s-au ales sisteme care asigură aproximativ aceeași calitate a aerului interior (debit de aer proaspăt introdus). Durata ipotetică de funcționare luată în calcul este 3 luni, iar durata de amortizare este de 10 ani.

Formulele de calcul utilizate sunt:

$$\Delta = \left[\sum A + \sum I + \sum M + E \cdot n \right]_{s_1} - \left[\sum A + \sum I + \sum M + \sum (E \cdot n) \right]_{s_2}$$

unde:

A = achiziție

I = instalare

M = mentenanță

E = cost energie lunar

n = număr de luni pe an luate în calcul ca fiind operaționale

$s_{1,2}$ = tip sistem de ventilare

2.5.4.2 Sisteme analizate

A. Ventilare naturală vs. grile higroreglabile

Nr. crt	TIP SISTEM VENTILARE	COSTURI ÎN SITUAȚIA DE IARNĂ [Euro]										
		INIȚIALE		EXPOLATARE								
		Achiziție	Instalare	Mentenanță / an	Q m³/h/pers	Tip energia folosită pentru încălzire	Preț unitar energie [Euro/kWh]	Putere necesară încălzire [kW]	Energie [kWh/zi]	Cost total energie [Euro/lună școlară/clasă]	Cost total general [Euro/lună școlară/clasă]	Amortizare [ani]
1	VENTILARE NATURALĂ	0	0	0	7.3	Gaz natural, încălzire cu radiatoare	0.03	1.9	15	11	11	-
2	GRILE HIGROREGLABILE + GRILE DE TRANSFER	211	73	0	8.1	Gaz natural, încălzire cu radiatoare	0.03	2	17	12	12	0

B. Ventilator + baterie de încălzire vs. recuperator de căldură tip dulap

Nr. crt	TIP SISTEM VENTILARE	COSTURI ÎN SITUAȚIA DE IARNĂ [Euro]										
		INIȚIALE		EXPLOATARE								
		Achiziție	Instalare	Mentenanță / an	Q m ³ /h/pers	Tip energia folosită pentru încălzire	Preț unitar energie [Euro/kWh]	Putere necesară încălzire [kW]	Energie [kWh/zi]	Cost total energie [Euro/lună școlară/clasă]	Cost total general [Euro/lună școlară/clasă]	Amortizare [ani]
1	VENTILATOR REVERSIBIL + GRILE DE TRANSFER + BATERIE ELECTRICĂ	243	52	17	25	Electrică, încălzire cu baterie	0.13	6.6	53	159	160	-
2	RECUPERATOR DE CĂLDURĂ TIP DULAP	5000	300	50	25	Electrică, încălzire cu baterie electrică (în caz de nevoie)	0.13	0.7	5	16	20	12

2.5.4.3 Rezultate

A. Ventilare naturală vs. grile higroreglabile

În situația dată, nu putem calcula un timp de amortizare al investiției deoarece costurile de exploatare și debitele de aer sunt aproximativ egale. O remarcă foarte importantă este aceea că debitul de aer proaspăt furnizat prin deschiderea ferestrelor se realizează numai dacă este respectat programul de deschidere al ferestrelor (toate ferestrele deschise, timp de 10 minute în pauze), acestu lucru nu prea se intamplă, mai ales în perioada de iarnă. În timp ce sistemul de ventilare cu grile higroreglabile asigură debitul de aer proaspăt constant. În concluzie sistemul de ventilare naturală cu grile higroreglabile ar trebui privit ca o soluție minimă în orice sală de clasă.

B. Ventilator + baterie de încălzire vs. recuperator de căldură tip dulap

Am considerat că o sală de curs standard nu este echipată cu nici un sistem de ventilare mecanică și dorim să investim într-un sistem de ventilare. Dacă luăm în calcul costurile necesare cu achiziție + instalare + mentenanță și exploatare, în cca. 12 ani sistemul de ventilare cu recuperare de căldură de tip dulap îl va depasi pe sistemul de ventilare cu ventilator + baterie de încălzire. Dacă considerăm ca aveam deja instalat un sistem de ventilare de tip ventilator + baterie de încălzire și dorim să aflăm în câți ani se amortizează noua investiție, răspunsul este cca.13 ani.

2.5.5 Concluzii:

Pentru a se putea vedea cel mai bine diferențele dintre sistemele analizate, s-a realizat tabelul centralizator de mai jos cu avantaje și dezavantajele principale. O remarcă importantă o are comparația valorii debitului introdus prin ventilare naturală (aceasta a fost obținută prin simulare numerică) și valoarea debitului de aer introdus prin grilele higroreglabile (aceasta este dată de producătorul grilelor). Pentru ventilarea naturală s-a obținut un debit de $7,3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{persoana}$ iar pentru grilele higroreglabile $8.1 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{persoană}$. Dacă s-ar monta acest tip de grile în interiorul sălilor de clasă, am obține o calitate a aerului echivalentă cu deschiderea ferestrelor cu intermitență (10 minute deschidere pe 1 ora de curs) în sezonul rece (nu se deschid întotdeauna) și nu vom avea curenți de aer reci la nivelul ocupanților datorită formei constructive a grilelor (aerul rece introdus este antrenat de curenții convectivi spre tavan).

Nr.crt.	TIP SISTEM VENTILARE	AVANTAJE	DEZAVANTAJE
1	VENTILARE NATURALĂ	a) Lipsă costuri de instalare, ferestrele sunt deja instalate	a) Nu se deschid ferestrele în pauze, curenți de aer reci la nivelul ocupanților, scăderea temperaturii în încăpere. b) Zgomot datorat mediului exterior.
2	RĂCITOR EVAPORATIV	a) Asigura o calitate ridicată a calității aerului.	a) Costuri foarte ridicate cu exploatarea. b) Mentenanță preventivă obligatorie (risc apariție legionela). c) Nu se poate controla funcționarea în funcție de gradul de ocupare și zilele nelucrătoare. d) Actualele norme nu ne mai lasă să funcționăm cu sisteme de ventilare fără recuperare de căldură.
3	VENTILATOR REVERSIBIL + GRILE DE TRANSFER + BATERIE ELECTRICĂ	a) Asigura o calitate ridicată a calității aerului.	a) Costuri foarte ridicate cu exploatarea. b) Mentenanță preventivă obligatorie. c) Aerul introdus nu este filtrat.
4	GRILE HIGROREGLABILE + GRILE DE TRANSFER	a) Asigura o calitate medie a calității aerului. b) Ieftine și ușor de instalat. c) Nu necesită alimentare cu energie electrică.	a) Nu asigură o cantitate de aer suficientă. b) Aerul introdus nu este filtrat.
5	RECUPERATOR DE CĂLDURĂ TIP DULAP	a) Asigura o calitate foarte ridicată a aerului. b) Aerul proaspăt este filtrat și tratat înainte de introducerea acestuia în încăpere. c) Se poate face un program de timp în funcție de gradul și perioada de ocupare. d) Debitul de aer sunt modulate în funcție de cantitatea de poluant degajată (concentrație CO ₂).	a) Costuri medii cu exploatarea. b) Greutatea de greoi (cca. 180 kg). c) Instalare scumpă.

3 SIMULARE NUMERICĂ SISTEME DE VENTILARE

3.1 Model geometric

Modelul geometric folosit este cel al unei săli de clasă, situată în Colegiul Național Mihai Viteazul din Sectorul 2, București. Sala de curs este situată la etajul 1, în mijlocul clădirii, cu orientarea ferestrelor spre latura vestică având denumirea 1.17, Biologie.

În figura 1 sunt descrise caracteristicile geometrice ale sălii de curs. Pereții sunt făcuți din cărămidă, dimensiunile sălii de curs sunt: lungime = 9m, lățime = 6.8m, înălțime = 4.9m rezultând o suprafață = 61.2 m² și un volum = 300 m³. Suprafața vitrată este alcătuită din trei ferestre de tip termopan dublu cu tâmplărie din lemn cu partea superioară în formă de semilună și partea inferioară de formă dreptunghiulară având o lățime de 1.5 m. În sala de curs sunt 34 de bănci din lemn grupate două câte două plus catedra profesorului. Ușa de la intrare este dublă cu deschidere spre exterior și o lățime totală de 1.3m.

3.2 Tipuri de sisteme de ventilare simulate numeric

Pentru a obține rezultate comparabile, pentru toate sistemele de ventilare mai jos analizate s-au considerat următoarele condiții la limita: o zi caracteristică de iarnă unde temperatura exterioară $t_{ext} = -10^{\circ}\text{C}$ și temperatura introdusă este $t_{intr} = 20^{\circ}\text{C}$. Simularea analizată este în regim staționar.

3.2.1 Ventilare naturală

3.2.1.1 Descriere model și condiții la limită

Caracteristicile ferestrelor sunt următoarele (vezi figura de mai jos): sunt compuse la partea inferioară din 3 ochiuri de geam rectangulare din care doar cel din mijloc este mobil (care se poate deschide) total sau parțial (oscilobat) și la partea superioară din 3 geamuri fixe în formă de semilună. Dimensiunile exterioare ale golului de fereastră sunt 2600 x 1500 mm. Partea mobilă de fereastră luată în cazurile de dimensionare au fost alese dimensiunile efective lățime = 500 mm și înălțime = 1700 mm în scopul simplificării analizei.

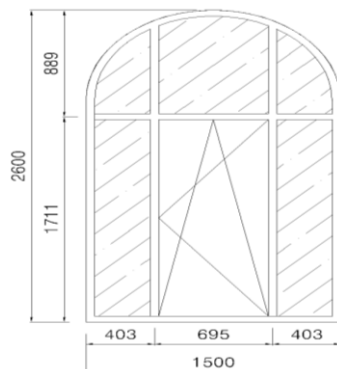


Fig.1 Tip de fereastră sală de clasă

Pentru sala de clasă a modelului analizat mai sus descris, s-au luat în calcul anumite situații de operare/deschidere a ferestrelor:

CAZUL	TIP OPERARE FEREȘTE	Deschidere ferestre	Suprafața de fereastră
Referință	Cu toate ferestrele închise	0	0% (0 m ² /fereastră)
Cazul 1A	Ventilare numai în timpul pauzei (10 minute între ore)	3 ferestre	50 % pe fereastră (0.5 m ² /fereastră)
Cazul 1B		1 fereastră	
Cazul 1C	Ventilare continuă de la 08:00-14:00	1 fereastră	
Cazul 1D		3 ferestre	

3.2.1.2 Rulare program

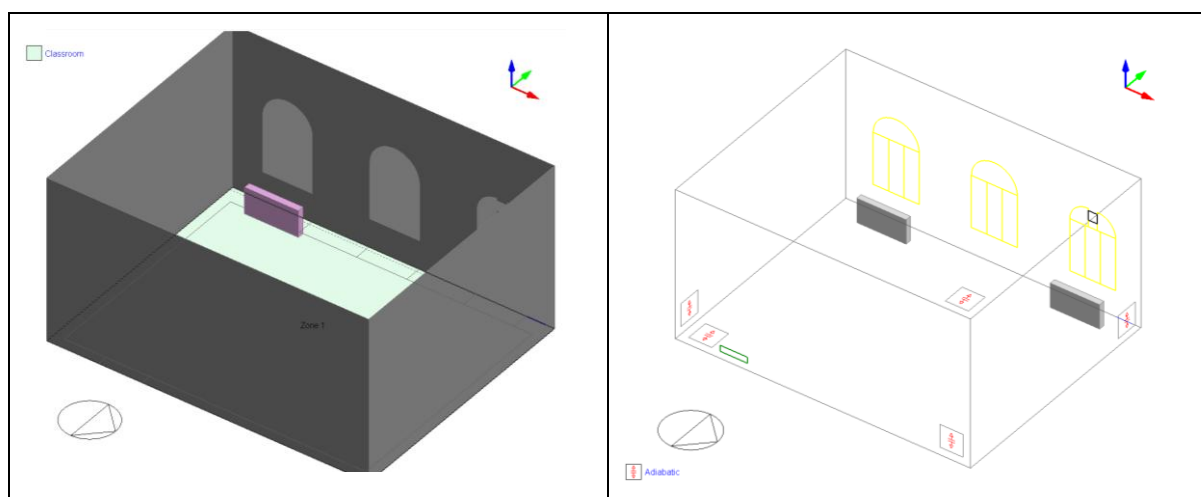


Fig.2 Caracteristici geometrice sală de clasă

3.2.1.3 Rezultate cantitative obținute

A. Distribuție temperatură

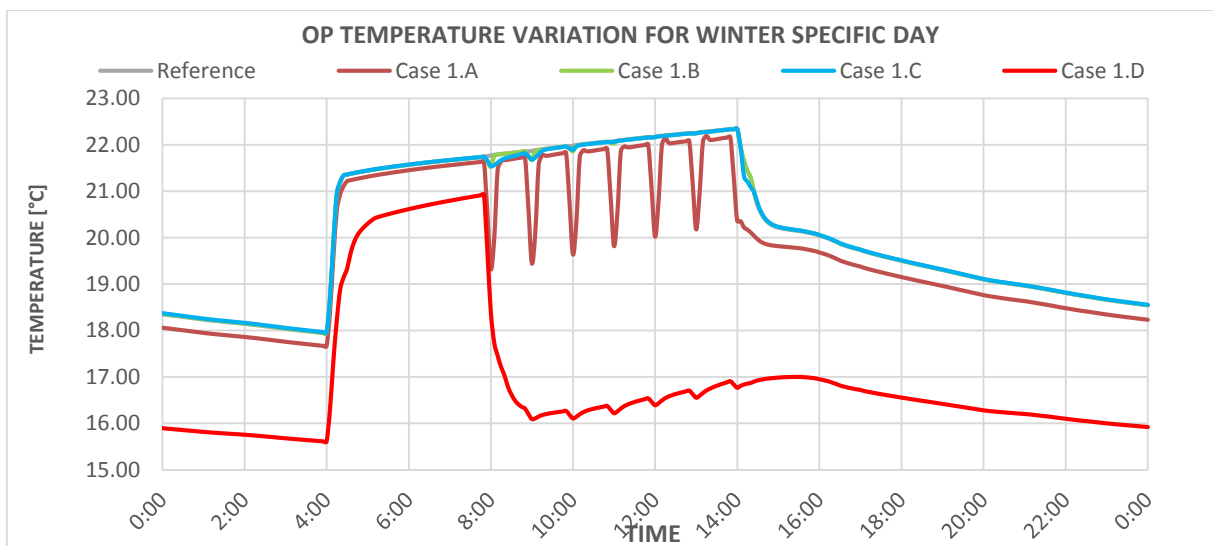


Fig.3 Distribuție temperatură

B. Distribuție umiditate

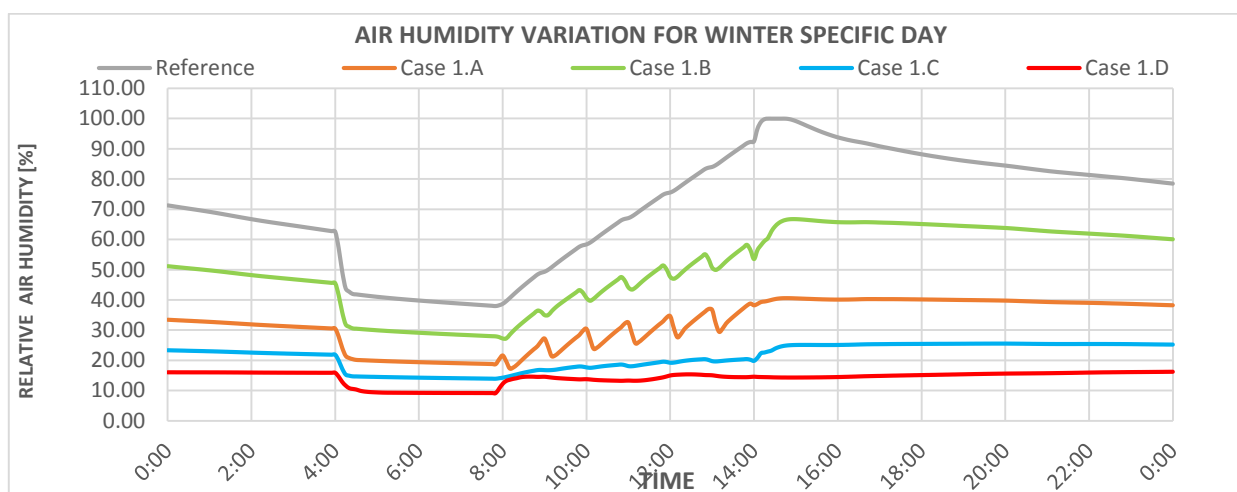


Fig.4 Distribuție umiditate

C. Distribuție concentrație de CO₂

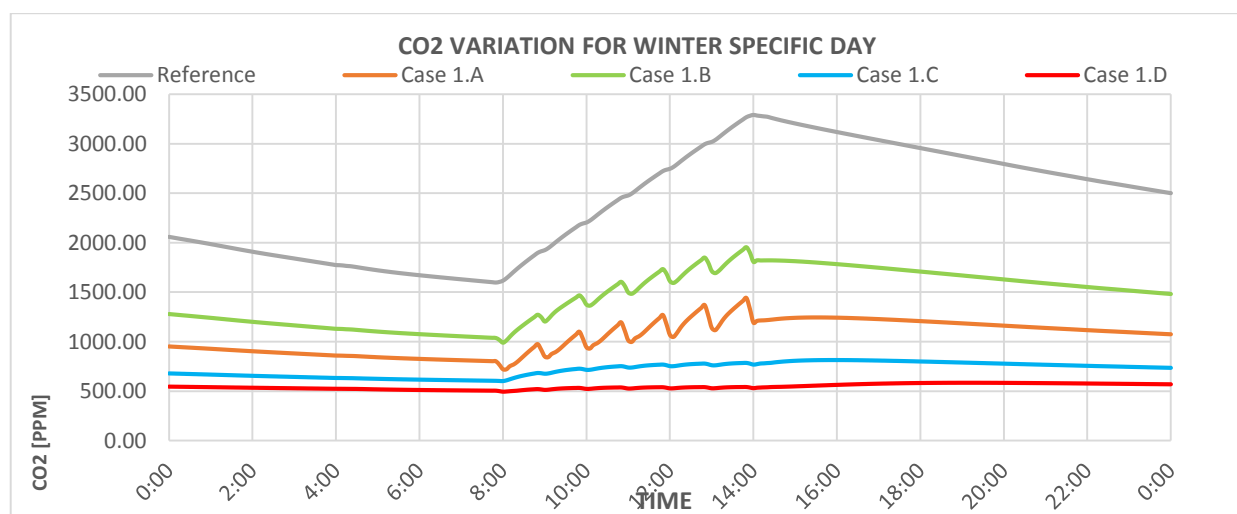


Fig.5 Distribuție CO₂

D. Distribuție index PMV

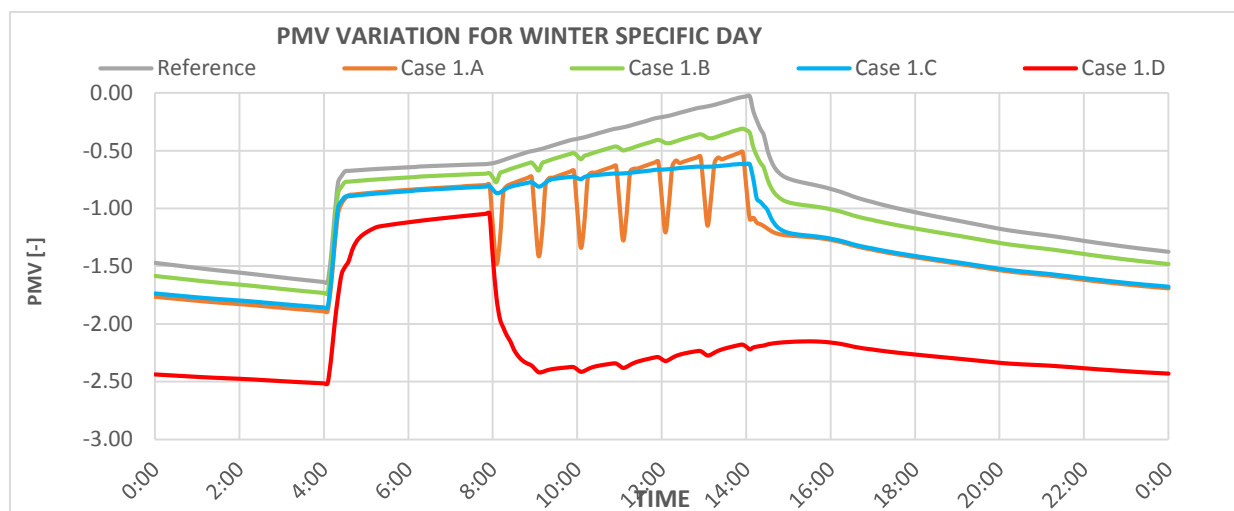


Fig.6 Distribuție PMV

E. Distribuție consum de energie

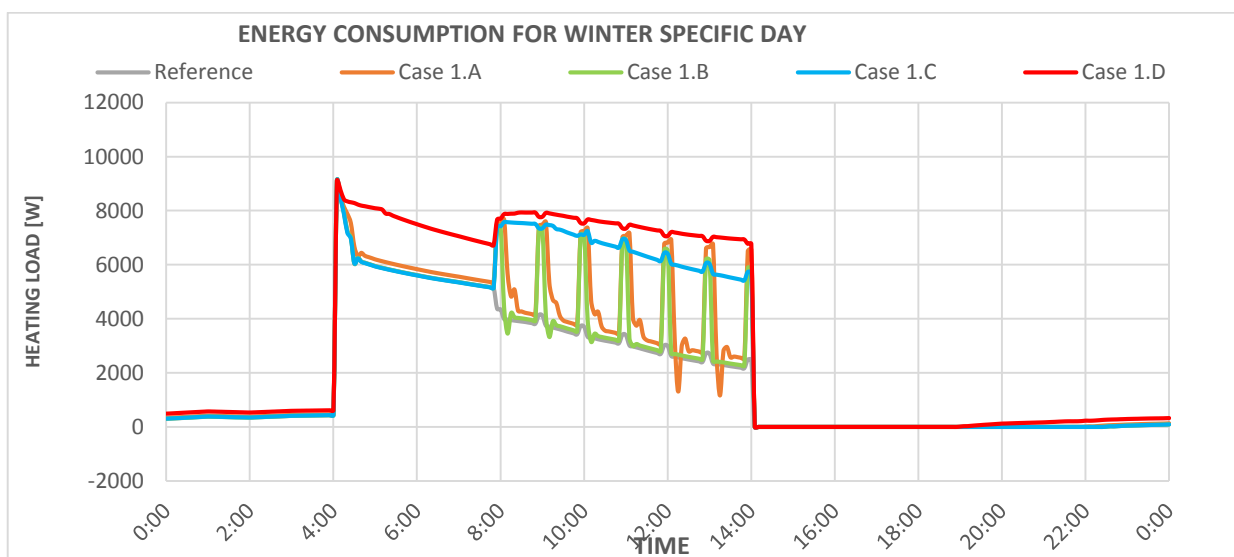


Fig.7 Distribuție energie

F. Distribuție infiltrații de aer

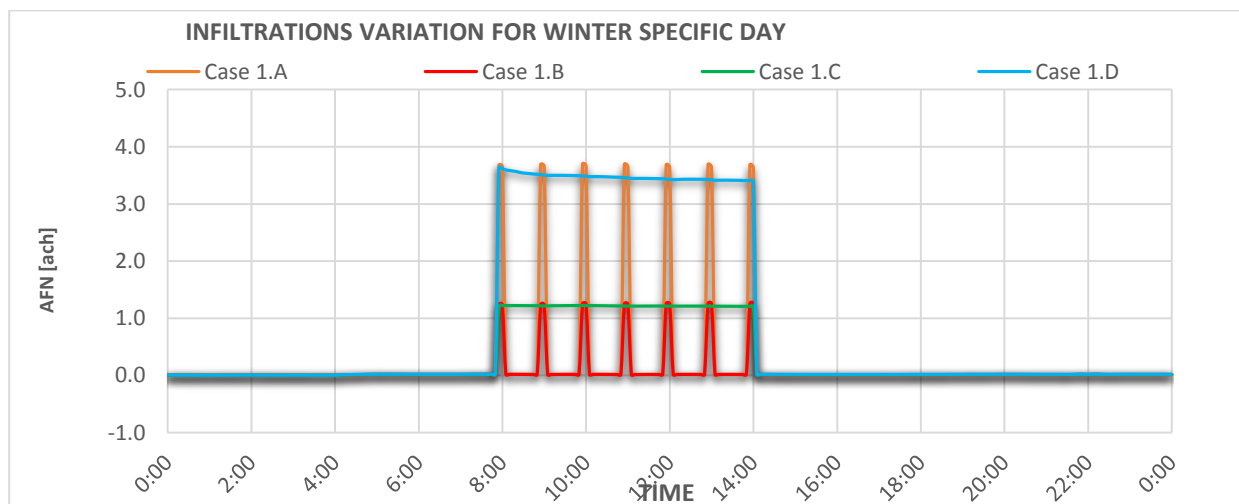


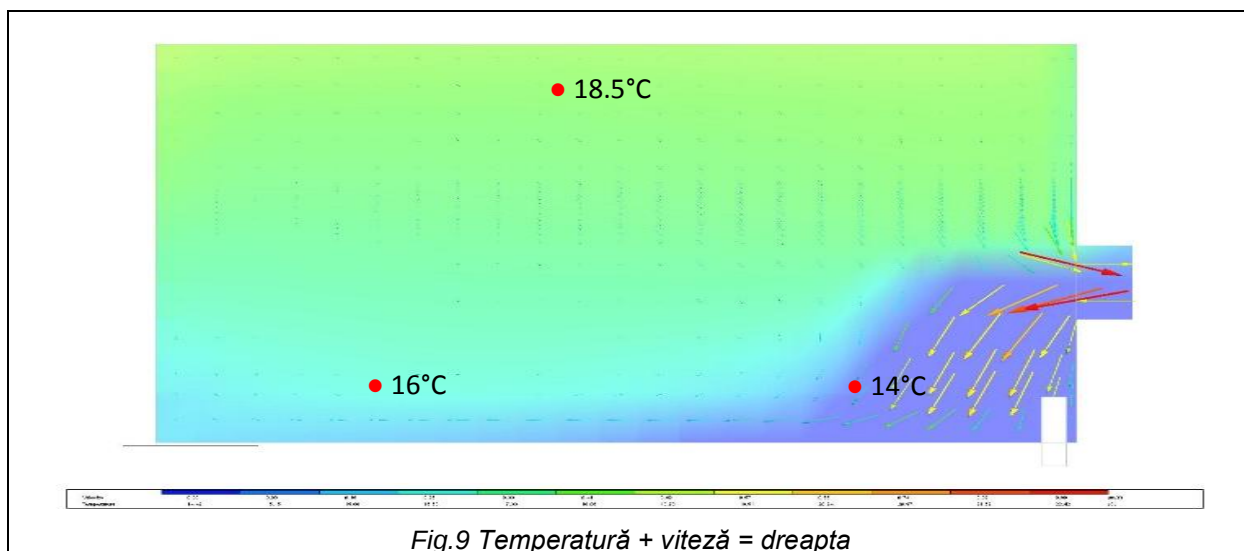
Fig.8 Distribuție număr de schimburi orare al aerului din încăpere

3.2.1.4 Rezultate calitative obținute

Cazul 1C – ventilare continuă, 1 fereastră deschisă 50%

A. Distribuție temperatură și viteză

a) Rezultate sub formă grafică

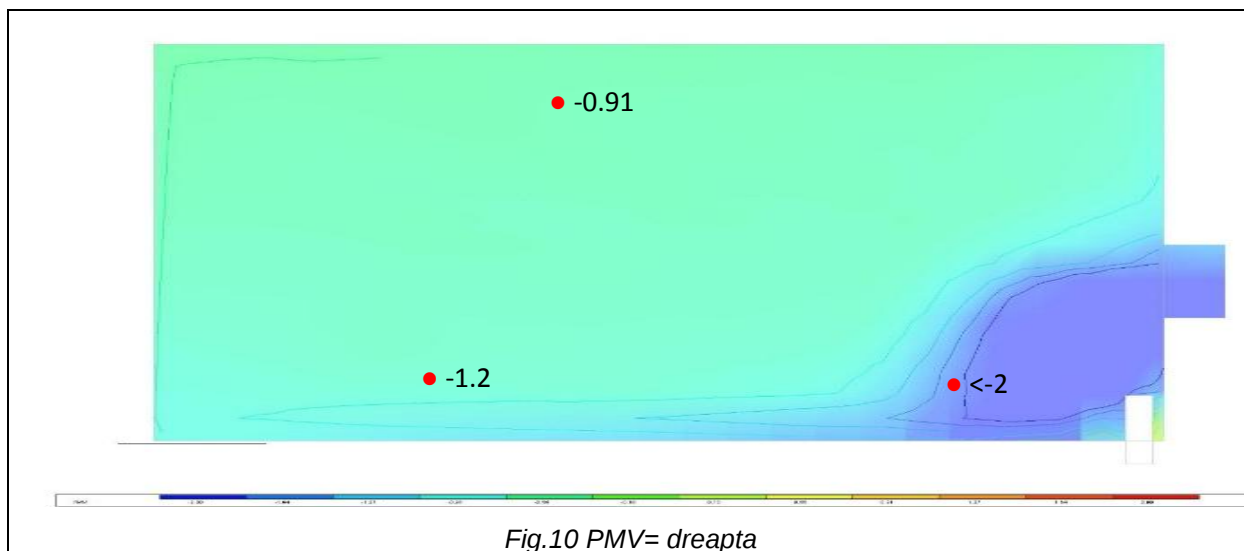


b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că temperatura în interiorul camerei scade destul de mult atingând valori de până la 14°C în vecinătatea ferestrelor deschise. În cazul ferestrei din mijloc, unde nu este montat radiatorul, răcirea este și mai pronunțată

B. Distribuție index PMV

a) Rezultate sub formă grafică



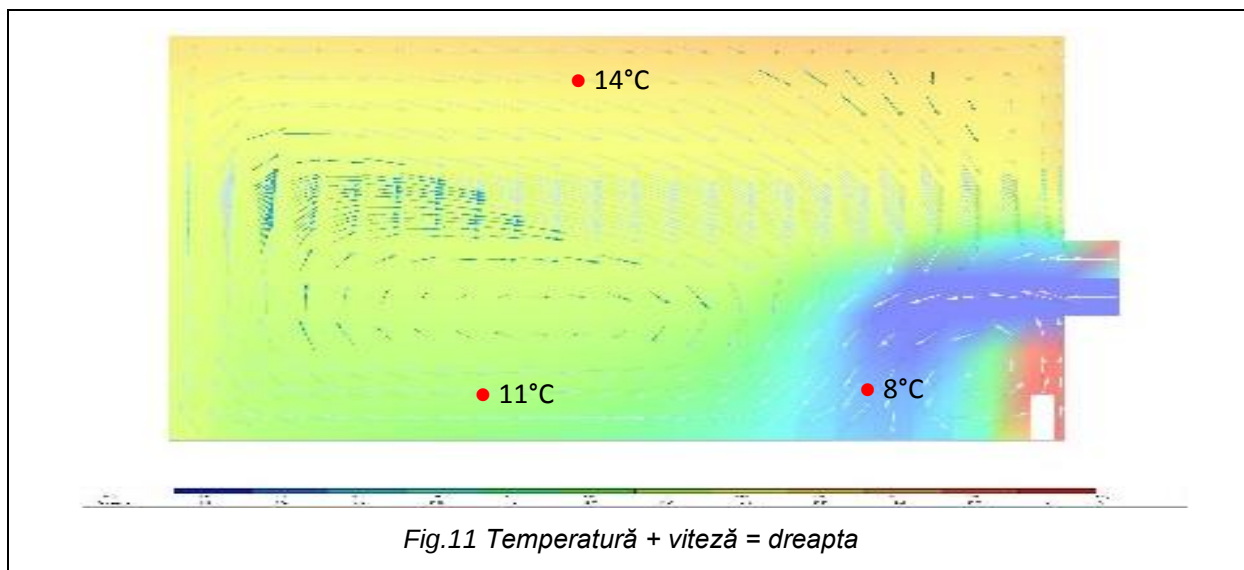
b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că indexul PMV în interiorul camerei scade destul de mult atingând valori mai mici de 2 în vecinătatea ferestrelor deschise. Ceea ce denotă un disconfort termic la peste 70% din ocupanți

Cazul 1D – ventilare continuă, 3 ferestre deschise 50%

A. Distribuție temperatură și viteză

a) Rezultate sub formă grafică

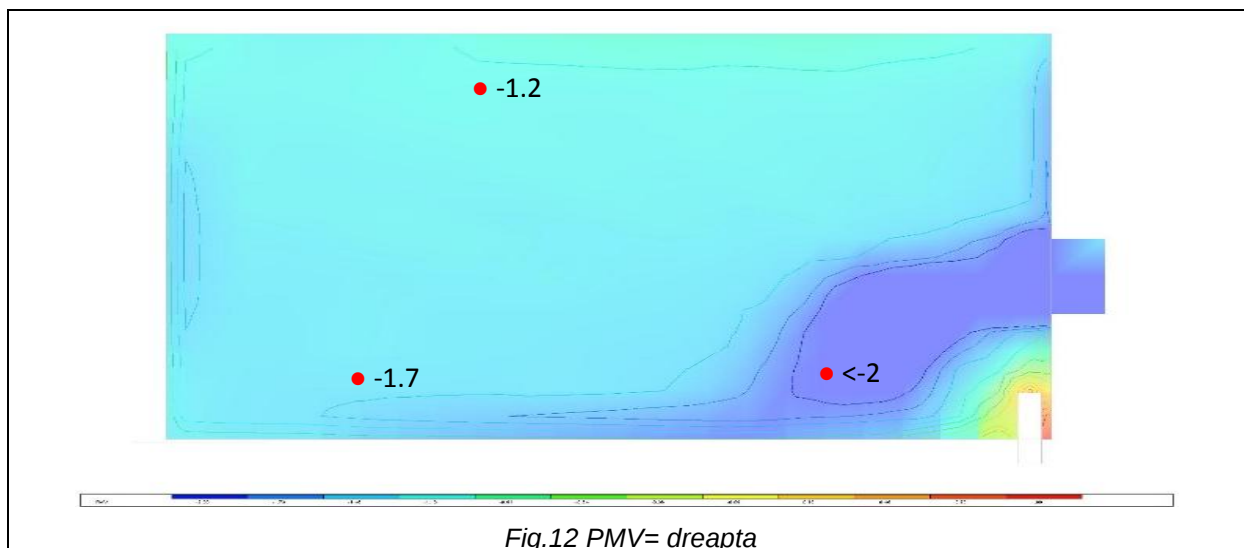


b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că temperatura în interiorul camerei scade destul de mult atingând valori de până la 8°C în vecinătatea ferestrelor deschise. În cazul ferestrei din mijloc, unde nu este montat radiatorul, răcirea este și mai pronunțată.

B. Distribuție index PMV

a) Rezultate sub formă grafică



b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că indexul PMV în interiorul camerei scade destul de mult atingând valori mai mici de 2 în vecinătatea ferestrelor deschise. Ceea ce denotă un disconfort termic la peste 70% din ocupanți.

3.2.2 Grile higroreglabile

3.2.2.1 Descriere model și condiții la limită

S-au considerat că în situația reală, montate 6 grile higroreglabile montate în sala de clasă. Pentru fiecare fereastră în parte au fost simulate la partea superioară o deschidere identică cu cea a grilelor higroreglabile. Pentru fiecare grilă în parte, temperatura impusă pentru introducere este -10°C și debitul de aer introdus este de $35\text{ m}^3/\text{h}$.

3.2.2.2 Rulare program

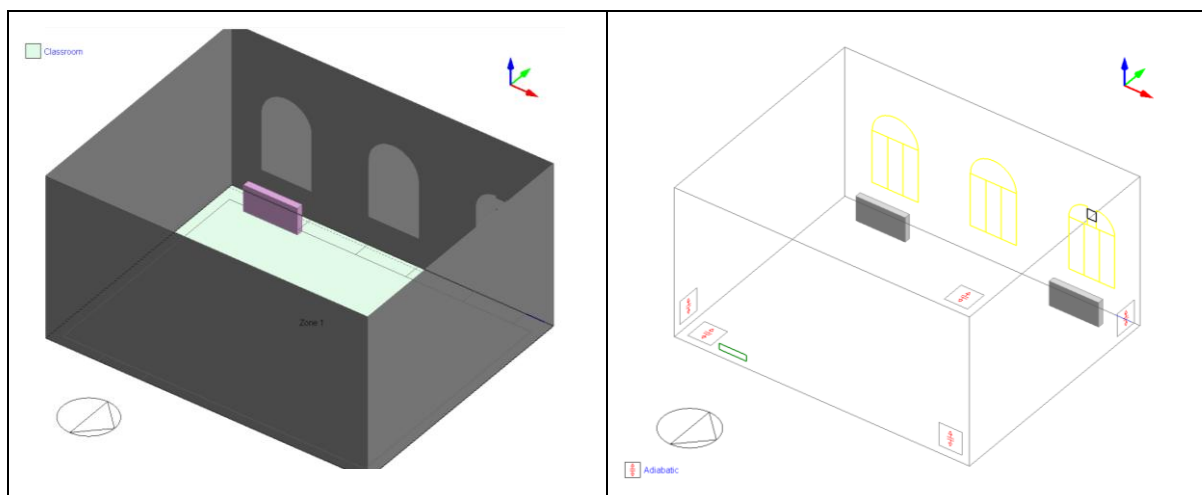


Fig.13 Reprezentare model

3.2.2.3 Rezultate calitative obținute

A. Distribuție temperatură și viteză

a) Rezultate sub formă grafică

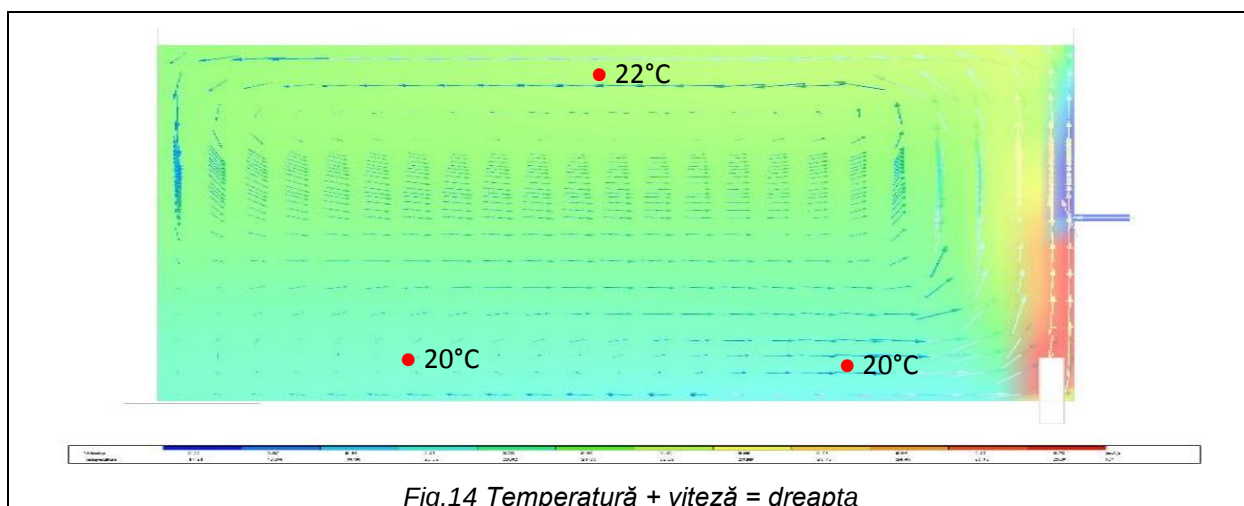


Fig.14 Temperatură + viteză = dreapta

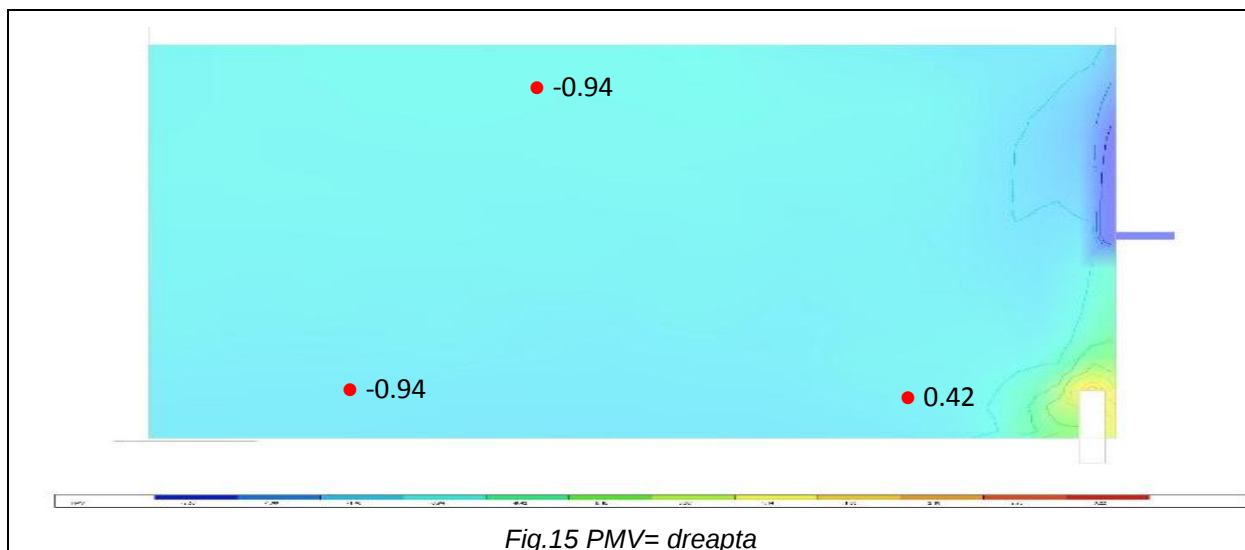
b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că temperatura în interiorul camerei este relativ constantă, curenții de aer reci sunt antrenati de jetul de aer convectiv proveniți de la radiator la partea superioară. În cazul ferestrei din mijloc, unde nu este montat radiatorul, temperatura este mai scăzută.

Parametrii de confort PMV

B. Distribuție index PMV

a) Rezultate sub formă grafică



b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că indexul PMV în interiorul camerei atinge valori de până la -0.94. Ceea ce denotă un disconfort termic la de până la 25% din ocupanți, lângă radiatoare indexul PMV crește până la valoarea de 0.42, ceea ce denotă un disconfort termic de până la 10 % din ocupanți.

3.2.3 Ventilator de fereastră

3.2.3.1 Descriere model și condiții la limită

S-au analizat ca și în situațiile de mai sus, aceiași temperatură de intrare $t_{\text{introducere}} = -10^{\circ}\text{C}$ și un debit introdus de $Q_{\text{introducere}} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$. Aerul intră prin partea superioară a ferestrei de lângă catedră și iese prin colțul opus prin partea inferioară a ușilor, prin grilele de transfer montate special în ușa. S-au impus condițiile la limită conform celor de mai sus descrise.

3.2.3.2 Rulare program

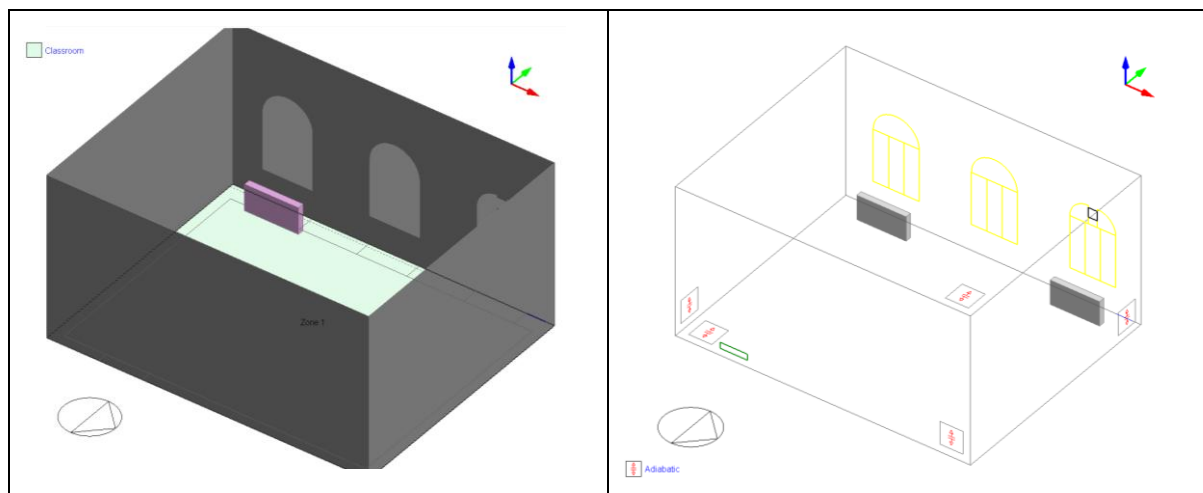
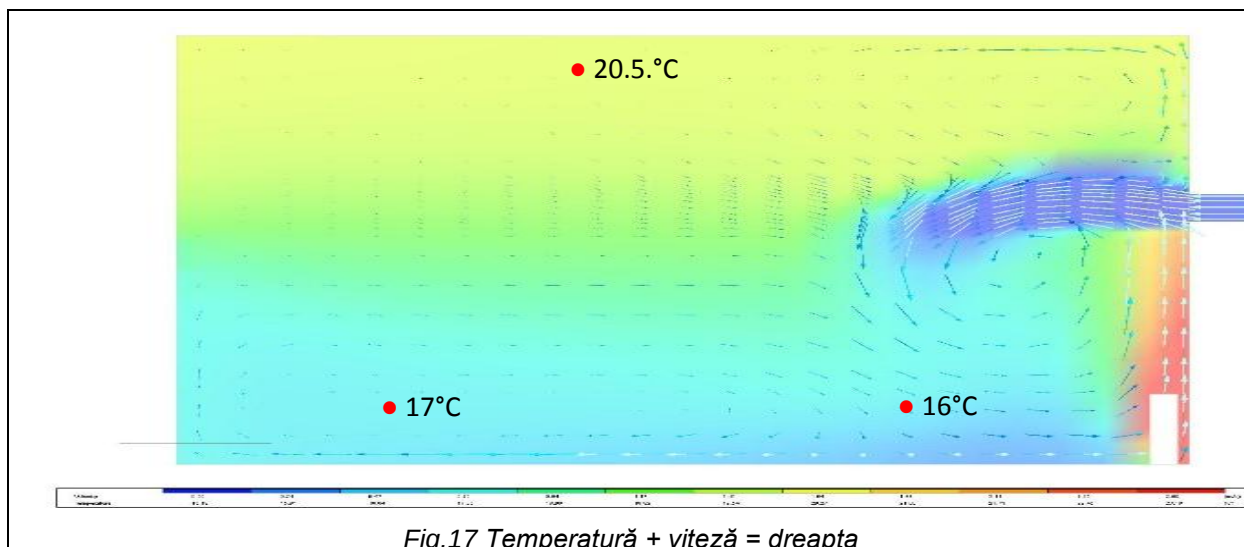


Fig.16 Reprezentare model

3.2.3.3 Rezultate calitative obținute

A. Distribuție temperatură și viteză

a) Rezultate sub formă grafică

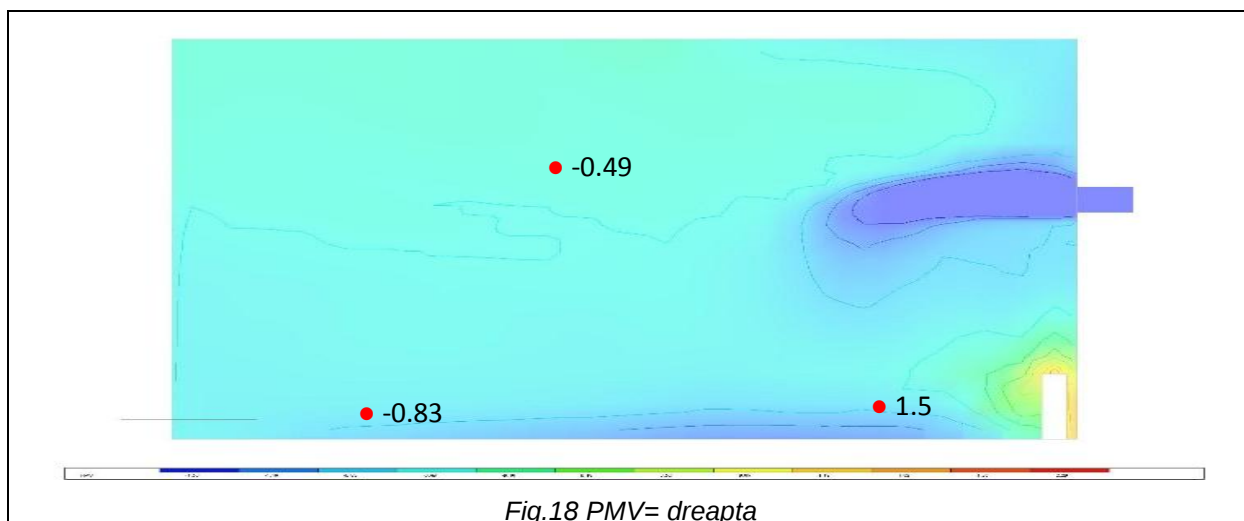


b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că temperatura în interiorul camerei scade destul de mult atingând valori de până la 16°C în vecinătatea ventilatorului de introducere. Deoarece jetul este concentrat și cu temperatură scăzută, cade destul de repede neavând timp să se uniformizeze cu temperatura din încăperea, acest lucru se poate observa cu ușurință în figura de mai sus. În situația de față este recomandat ca aerul să fie evacuat din încăperea nu introdus.

B. Distribuție index PMV

a) Rezultate sub formă grafică



b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că indexul PMV în interiorul camerei atinge valori de până la -0.83, ceea ce denotă un disconfort termic de până la 60% din ocupanți, lângă radiatoare indexul PMV crește până la valoarea de 1.5. Din rezultatele obținute se pare că această soluție nu este recomandată din motive de curenți de aer ridicați și temperaturi scăzute la nivelul ocupanților.

3.2.4 Ventilator de fereastră cu baterie electrică

3.2.4.1 Descriere model și condiții la limită

S-a utilizat cazul prezentat anterior cu modificarea ca ventilatorului i s-a montat cu baterie electrica de încălzire a aerului. Temperatura de intrare $t_{\text{introducere}} = 20^{\circ}\text{C}$ și un debit introdus de $Q_{\text{introducere}} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$. Aerul intră prin partea superioara a ferestrei de langă catedră și iese prin colțul opus prin partea inferioară a ușilor, prin grilele de transfer montate special în ușa. S-au impus condițiile la limită conform celor de mai sus descrise.

3.2.4.2 Rulare program

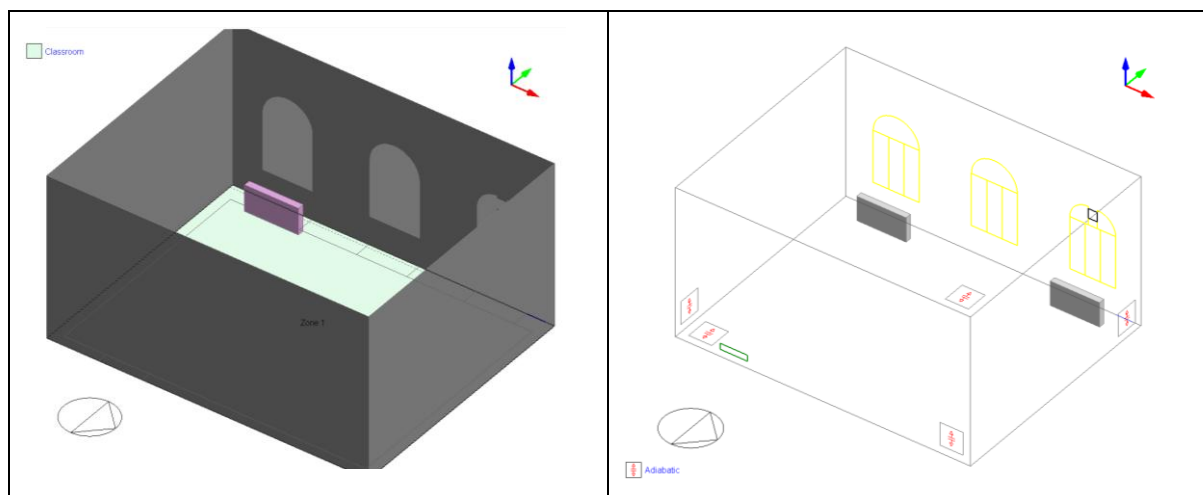


Fig.19 Reprezentare model

3.2.4.3 Rezultate calitative obținute

A. Distribuție temperatură și viteză

a) Rezultate sub formă grafică

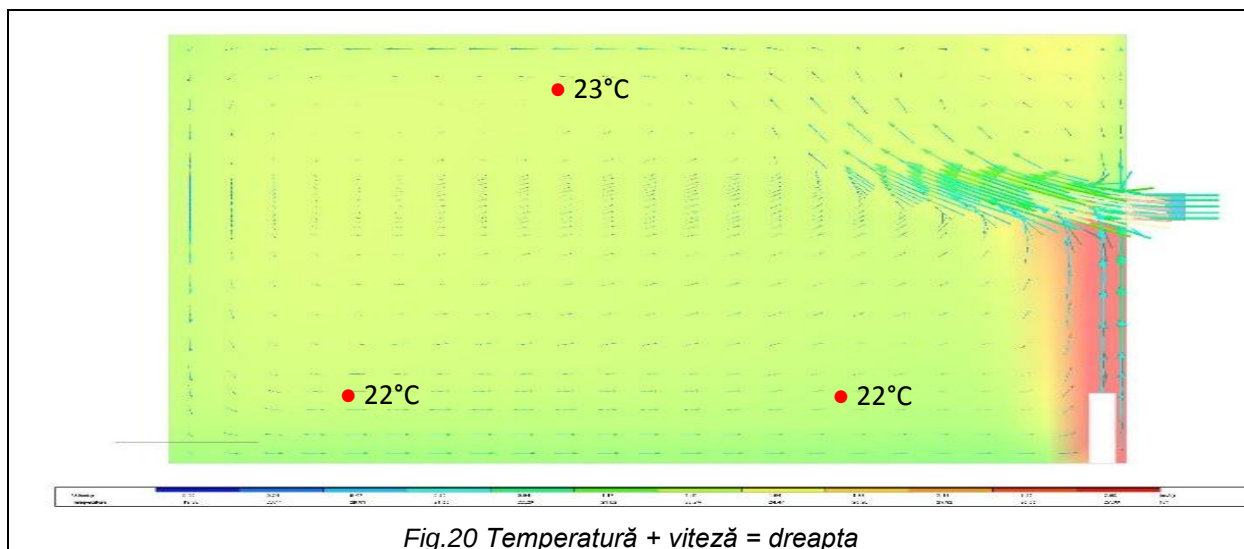


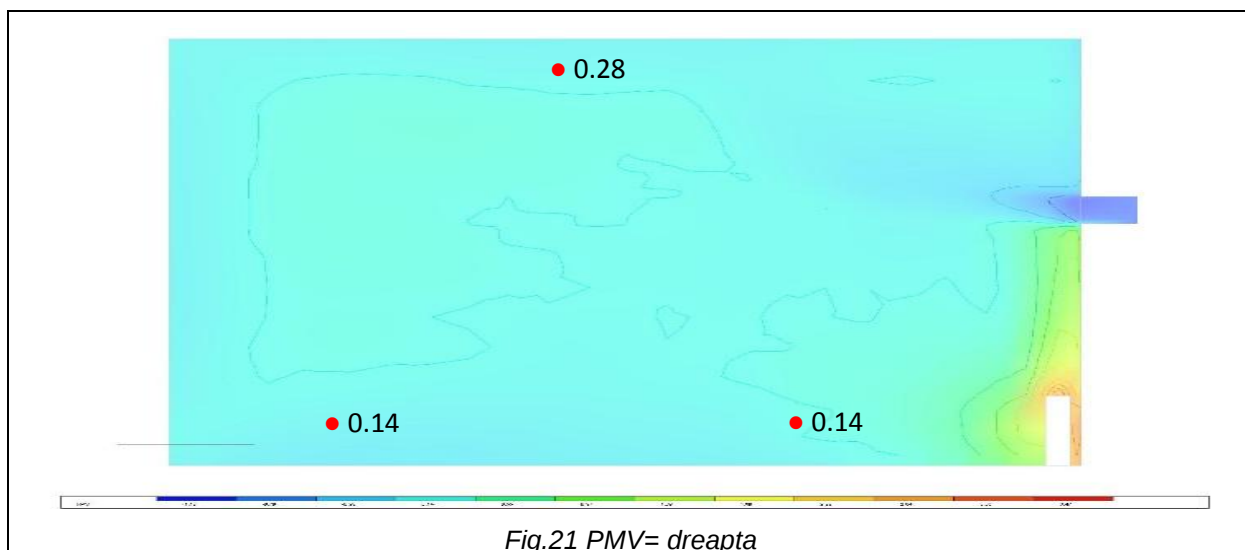
Fig.20 Temperatură + viteză = dreapta

b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că temperatura în interiorul camerei este constantă și uniformă cu valori de 22...23°C în tot volumul încăperii. Principalul inconvenient al acestei solutii este acela ca sunt necesare cantități mari de energie pentru a încălzi aerul de la -10°C pana la 20°C pentru un debit de $600 \text{ m}^3/\text{h}$ și scolile nu dispun de o asemenea putere (electrică/termică) instalată.

B. Distribuție index PMV

a) Rezultate sub formă grafică



b) Concluzii:

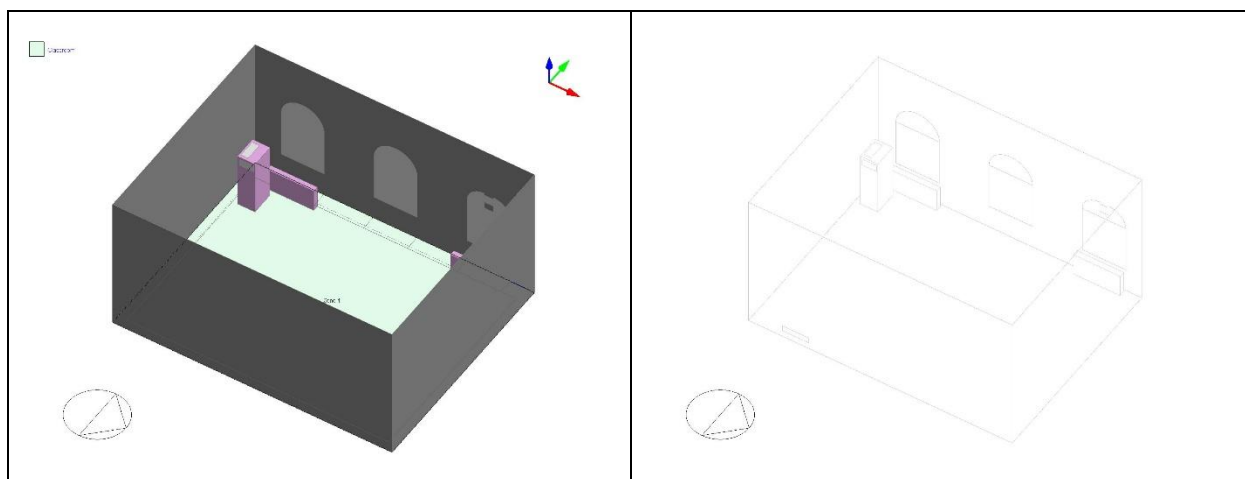
Se poate observa în imaginile obținute din simulări că indexul PMV în interiorul camerei atinge valori de 0.14, ceea ce denotă un confort termic ridicat pentru 95% din ocupanți. Din punct de vedere al confortului după index-ul PMV, această soluție este recomandată.

3.2.5 Recuperator de căldură tip dulap

3.2.5.1 Descriere model și condiții la limită

Ca și în situația reală, s-a amplasat sistemul de ventilare în spatele clasei pe pereții exteriori. La partea superioară s-a desenat grila de introducere și i s-au impus condițiile la limită (temperatura de introducere $t_{\text{introducere}} = 20^\circ\text{C}$ și un debit introdus de $Q_{\text{introducere}} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$), pe partea laterală dinspre intrarea în sala de clasă s-a desenat evacuare ($Q_{\text{evacuare}} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$). Temperatura exterioară a fost considerată ca în toate cazurile precedente $t_{\text{exterior}} = -10^\circ\text{C}$.

3.2.5.2 Rulare program



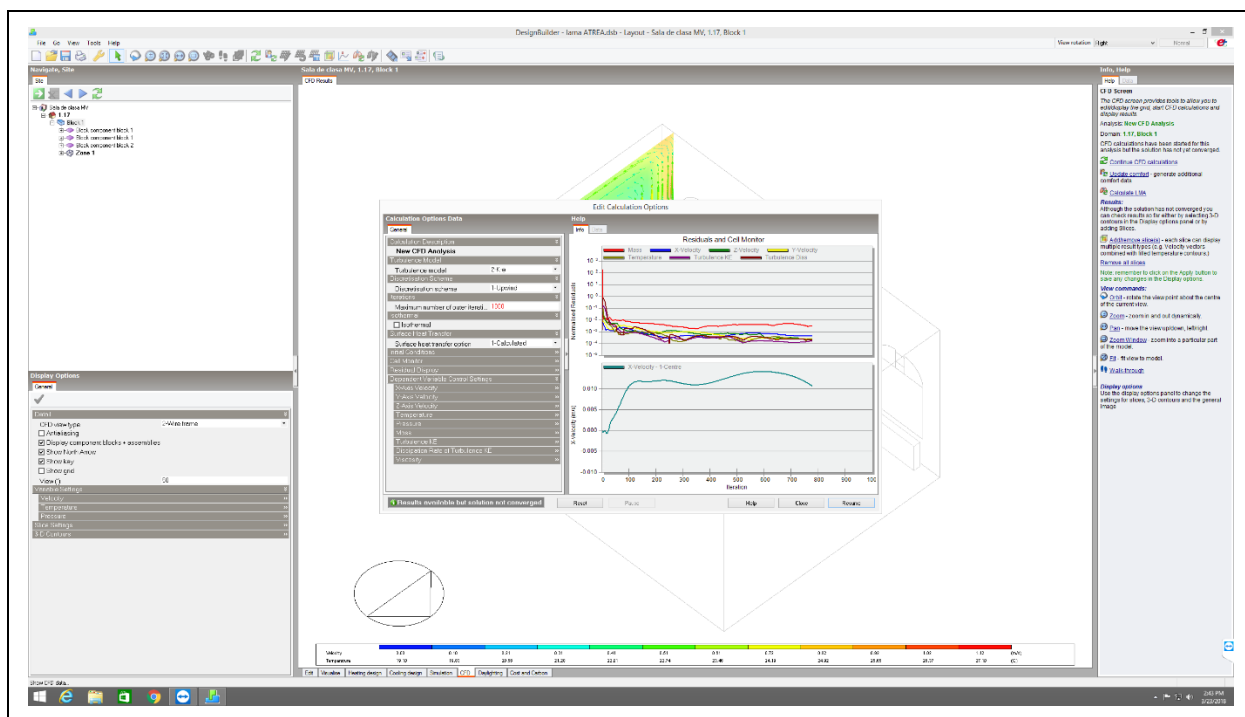


Fig.22 Reprezentare model

3.2.5.3 Rezultate calitative obținute

A. Distribuție temperatură și viteză

a) Rezultate sub formă grafică

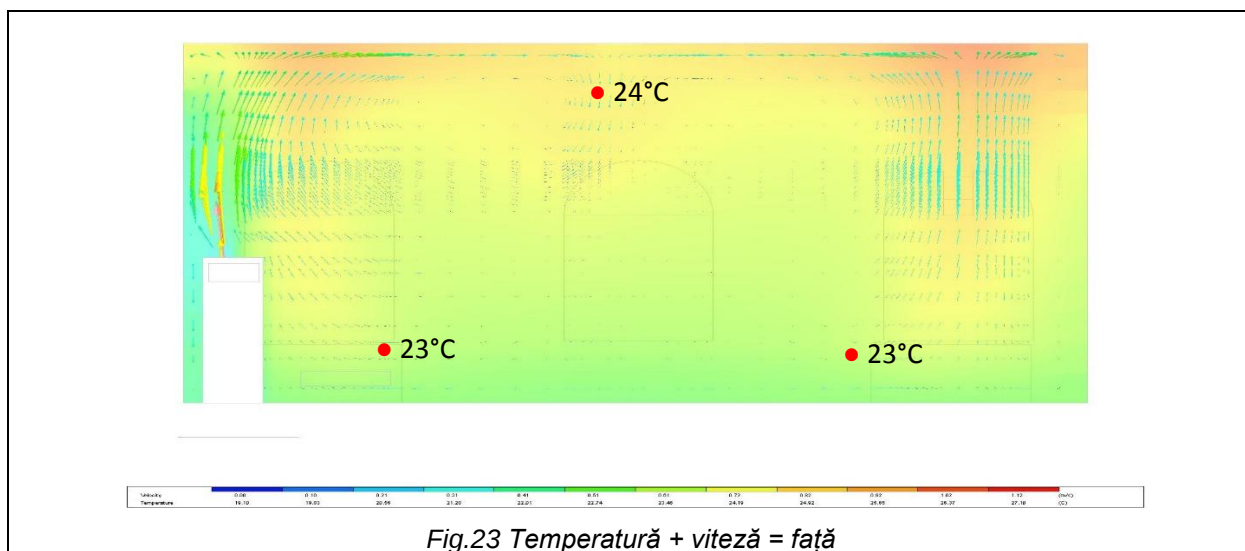


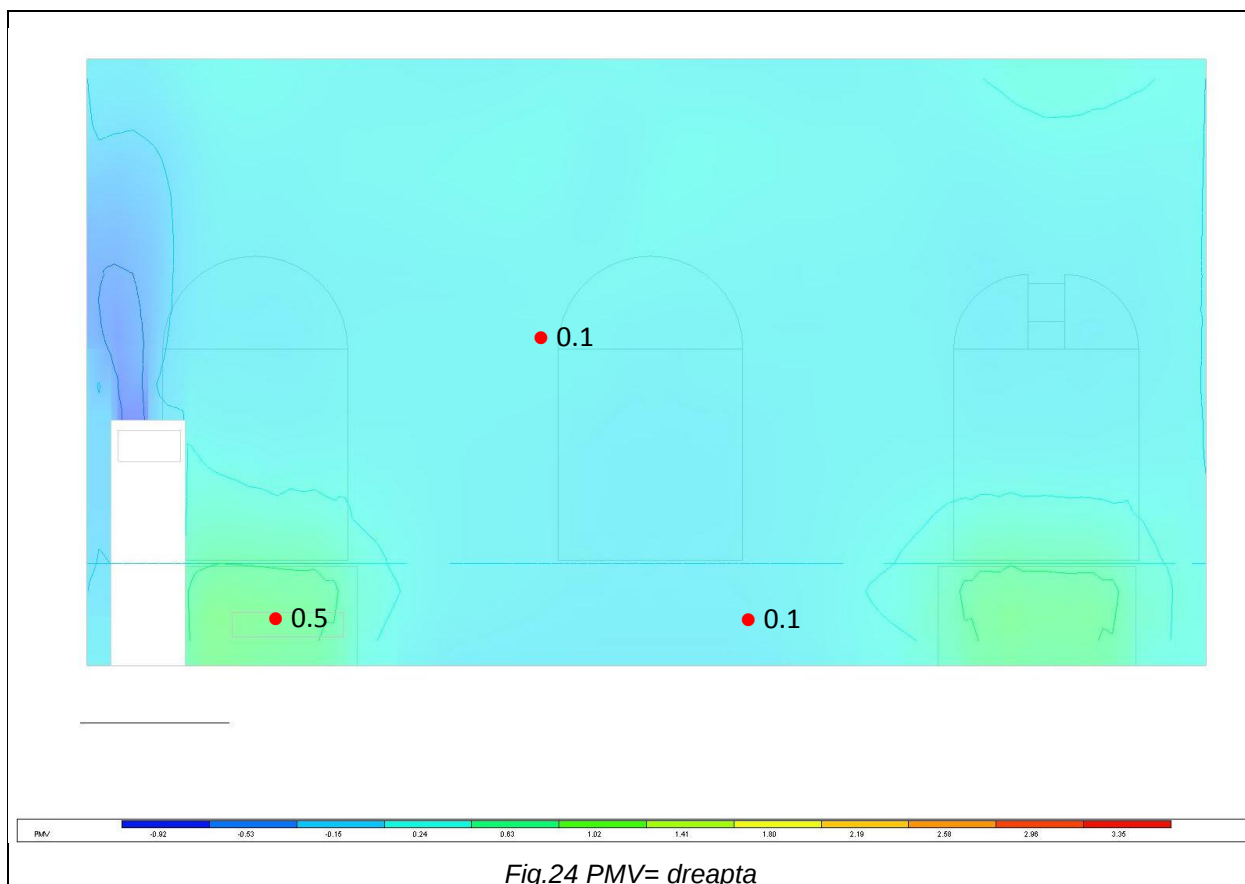
Fig.23 Temperatură + viteză = față

b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că temperatura în interiorul camerei este constantă și uniformă cu valori de 23...24°C în tot volumul încăperii. Principalul avantaj al acestui tip de sistem de ventilare este ca este dotat cu recuperator de căldură și peste 80 % din energia evacuată o reintroduce în aerul proaspăt. Este complet automatizat și se poate controla de la distanță.

B. Distribuție index PMV

a) Rezultate sub formă grafică



b) Concluzii:

Se poate observa în imaginile obținute din simulări că indexul PMV în interiorul camerei atinge valori de 0.1, ceea ce denotă un confort termic ridicat pentru 95% din ocupanți. Din punct de vedere al confortului după index-ul PMV și al consumului de energie, această soluție este recomandată.

4 CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE, DISEMINARE REZULTATE

4.1 Concluzii generale

Datorită volumului mare de parte experimentală și a numărului mare de sisteme analizate, concluziile și observațiile detaliate s-au făcut după fiecare capitol în parte, în acesastă secțiune am tras concluziile principale și generale pentru fiecare tip de sistem în parte.

Obiectivul principal al tezei, acela de a compara și găsi cele mai bune sistem de ventilare pentru instituțiile educaționale cu avantajele și inconvenientele fiecaruia a fost dus la bun sfârșit.

Direcția în care ar trebui continuată cercetarea este de a cauta sisteme de ventilare cu performanțe și mai bune, de a verifica strategii de ventilare diferite pentru actualul sistem de ventilare cu recuperare de căldură (funcționare pe timpul sezonului cald, ventilare nocturnă, free cooling, ventilare prin deplasare, tubulatura de distribuție pentru recuperatorul de căldură...etc).

O remarcă importantă în cadrul tezei de doctorat este aceea că, cu un cost de instalare mic reducem semnificativ nivelul de CO₂ într-o sală de clasă cu ajutorul grilelor higroreglabile.

Găsirea unui sistem care să aibă costul de instalare, exploatare reduse și performanțe ridicate nu există la ora actuală pentru a satisface clădirile existente din instituțiile educaționale.

4.1.1 Ventilare naturală

4.1.1.1 Avantaje

Lipsa costurilor de instalare, ferestrele sunt deja instalate în toate clădirile educaționale.

4.1.1.2 Dezavantaje

Conform regulamentului școlar, ferestrele ar trebui să se deschidă pe toată durata pauzelor, în fiecare pauză, din pacate acest lucru nu se întâmplă aproape în nici o clasă pe perioada sezonului rece.

Atunci când se deschid, scade foarte mult și repede temperatura interioră și apar curenți de aer reci la nivelul ocupanților.

În timpul sezonului cald, atunci când ferestrele stau deschise, apare zgomot datorat mediului exterior (dacă școlile se află lângă șoseaua principală zgomotul din exterior este și mai pronunțat).

4.1.1.3 Concluzii

Această soluție are numeroase dezavantaje, dar dacă s-ar păstra cu strictețe regulamentul școlar, calitatea mediului interior ar fi mult mai bună decât atunci când ferestrele sunt aproape închise tot timpul anului.

4.1.2 Răcitor evaporativ + baterie electrică de încălzire

4.1.2.1 Avantaje

Principalul avantaj al acestui sistem este acela că o unitate de ventilare poate asigura debitul necesar pentru una sau mai multe săli de curs.

Aerul este răcit adiabatic și filtrat cu ajutorul fagurilor special concepuți.

Se poate obține o eficiență de răcire de până la 10 ori (cu consumul unui ventilator de 0.18 kW am obținut o putere de răcire adiabată de 1.9 kW).

4.1.2.2 Dezavantaje

Costuri de instalare și exploatare ridicate. Menținerea preventivă este obligatorie a se face cu strictețe. De cele mai multe ori nu se face.

Risc de apariție "legionella" în caz de exploatare necorespunzătoare (schimbat filtre, curățare bazin de apă...etc).

Nu are recuperare de căldură, rezulta un consum foarte mare de energie pentru încălzirea aerului în sezonul rece.

Deoarece răcirea se face prin umidificare directă asupra aerului, sunt situații în care umiditatea relativă la interior poate ajunge și la valori de 70 % (în imediata apropiere a zonei de disconfort).

4.1.2.3 Concluzii

Acest sistem prezintă o serie de avantaje însă dacă luăm în considerare partea de mentenanță preventivă precară care se face asupra sistemelor, nu este recomandat a se monta în astfel de condiții.

4.1.3 Ventilator reversibil + grilă de transfer

4.1.3.1 Avantaje

Costuri de instalare și exploatare medii în comparație cu restul de sisteme.

Asigura un debit de aer proaspăt suficient pentru o sală de curs normală.

Ventilatorul este reversibil, se poate introduce și evacua aer în și din încăpere.

Sistemul este dotat cu jaluzele cu deschidere și închidere automată în funcție de starea ventilatorului (ON/OFF).

Atenuatorul de zgomot reduce semnificativ zgomotul generat de ventilator sau din exterior până la valoarea de 39 dB(A).

Se poate face un program de timp stabilit pe zile, ore pentru întreaga săptămână.

Sistemul este dotat cu un logger de înregistrare al principalilor parametrii.

Mentenanța preventivă se poate face cu ușurință cu o cârpă umedă moale.

4.1.3.2 Dezavantaje

Nu se poate introduce aer din mediul exterior pe durata sezonului rece deoarece apar curenți de aer la nivelul ocupanților.

Aerul introdus nu este filtrat (se introduce în sala de curs praful și polenul de afară).

Dacă s-ar monta o baterie de încălzire a aerului, costurile cu exploatarea sunt foarte ridicate.

4.1.3.3 Concluzii

Acest sistem este preferat pentru a rezolva problema nivelului de CO₂ ridicat în sezonul, toamna, primavară, vară. Pe durata sezonului rece folosirea acestuia pe modul de introducere aer din mediul exterior la temperaturi negative este imposibilă.

4.1.4 Grile higroreglabile + grilă de transfer

4.1.4.1 Avantaje

Costuri de instalare și exploatare scăzute în comparație cu restul de sisteme montate. Se montează în tocăria deja existentă. De diverse culori și forme.

Debitele de aer introduse sunt puțin mai mari decât în cazul ventilării naturale cu intermitență (deschidere ferestre în pauze) și asigură o reducere semnificativă a nivelului de CO₂ pe toată durata orelor de curs.

Sunt dotate cu atenuator de zgomot (zgomotul din exterior este redus).

Se poate opta pentru funcționare în modul manual (ON, OFF) sau automat (aceste se deschid atunci când umiditatea crește și se închid când umiditatea scade).

Mentenanța preventivă se poate face cu ușurință cu o cârpă umedă moale.

Nu consumă curent electric (elementul de acționare a clapetei de închidere este în funcție de umiditate).

4.1.4.2 Dezavantaje

Debitul de aer nu este suficient pentru a reduce nivelul de CO₂ până la limitele recomandate (egal sau sub 1.000 ppm).

În funcție de arhitectura ferestrelor pot încăpea mai multe sau mai puține grile higroreglabile.

4.1.4.3 Concluzii

Din toate sistemele de ventilare analizate până în prezent în cadrul prezentei teze de doctorat, acest sistem implică costuri minime și are cele mai bune beneficii pentru un raport performanțe-preț. Știm că nu rezolva în totalitate problemele de calitate a mediului interior dar oferă o îmbunătățire semnificativă.

4.1.5 Sistem de ventilare descentralizat tip dulap, cu recuperare de căldură

4.1.5.1 Avantaje

Asigură o calitate foarte ridicată a calității aerului.

Aerul proaspăt este filtrat și tratat înainte de introducerea acestuia în încăpere.

Se poate face un program de timp în funcție de gradul și perioada de ocupare.

Debitele de aer sunt modulate în funcție de cantitatea de poluant degajată (CO₂).

Temperaturile sunt măsurate cu ajutorul senzorilor integrați și înregistrați pe o perioadă îndelungată.

4.1.5.2 Dezavantaje

Costuri ridicate de instalare și medii cu exploatarea.

Destul de greoi (cca. 180 kg).

4.1.5.3 Concluzii

Dintre toate sistemele studiate în cadrul acestei teze de doctorat acesta a obținut cele mai bune rezultate atât din punct de vedere al eficienței energetice cât și a calității mediului interior.

4.2 Contributii personale

Cele mai importante contribuții pe care le-am avut în cazul acestei perioade de doctorat sunt:

- am reușit să duc la bun sfârșit lucrarea de doctorat (nu credeam vreodată că o sa-mi placă atât de mult studiile tehnice încât să ajung până la rangul de doctorand);
- toate sistemele de ventilare au fost proiectate, instalate, testate de mine (sub supravegherea domnului conf. dr. ing. Tiberiu CATALINA și a ajutorul colegilor de munca etc.) până la cel mai mic detaliu;
- cea mai mare parte din costurile financiare au fost suportate de mine și de domnul conf. dr. ing. Tiberiu CATALINA (de dragul artei);
- toata lucrarea de doctorat am facut-o în timp ce mi-am întemeiat o familie, o casa, o firmă...etc (eforturi multiple, dar când le faci cu pasiune lucrurile devin mai simple și ușoare);

Sper ca această lucrare să atragă și mai mult atenția autorităților în scopul implementării de sisteme de ventilare în școlile din România (măcar un sistem de ventilare minim).

4.3 Diseminare rezultate

Am avut ocazia de a participa în calitate de autor sau coautor la articole naționale, internaționale, concursuri, prezentări poster alături de profesorii îndrumători de la Facultatea de Inginerie a Instalațiilor din cadrul Universității Tehnice de Construcții București sau colegii din cadrul proiectului de cercetare de la Facultatea de Știință și Ingineria Mediului din cadrul Universității Babeș-Bolyai, Cluj Napoca.

Cele mai importante dintre acestea, sunt amintite în tabelul de mai jos și redată după acesta în anexa actualei teze de doctorat.

Nr.crt.	Autori	Revista / Locație	Denumire
1	Adrian-Gabriel GHIAUȘ, Marian-Andrei ISTRATE	A XVII Conferință Confort, Eficiență, Conservarea Energiei și Protecția Mediului 18 - 19 Martie 2010, FII	Simularea numerică a uscării produselor lemnoase cu ajutorul programului Comsol
2	Adrian-Gabriel GHIAUȘ, Marian-Andrei ISTRATE , Andrei-Mugur GEORGESCU	Comsol Conference in Paris, 2010	Air Flow Characteristics Inside an Industrial Wood Pallet Drying Kiln
3	Adrian-Gabriel GHIAUȘ, Marian-Andrei ISTRATE , Andrei-Mugur GEORGESCU	Comsol Conference in Milan, 2012	Ventilation System of a Microwave Assisted Drying Kiln
4	Marian-Andrei ISTRATE , Tiberiu CATALINA	RCPB VI th International Conference of Faculty of Building Services - 5th June 2014	Experimental research of an evaporative cooling system installed into a classroom
5	Marian-Andrei ISTRATE , Tiberiu CATALINA	ROGBC 2014 (Romania Green Building Council)	First place at category "Green Building Education Initiative of the Year" by ROGBC 2014
6	Marian-Andrei ISTRATE , Tiberiu CATALINA	Creativity awards by ARCUB – UNATC 2014	Bazele unui sistem de ventilare prototip care a fost instalat, verificat și analizate în Liceul Anghel Saligny
7	Marian-Andrei ISTRATE , Tiberiu CATALINA, Horațiu DRAGNE	Young Researchers Conference, Technical University of Civil Engineering Bucharest– 19-20th November 2014	Indoor air quality improvement in a classroom using an evaporative cooling ventilation system
8	Marian-Andrei ISTRATE , Tiberiu CATALINA	Cafeneaua de Inovare, June 2015	Sistem de ventilare prototip pentru școli
9	Marian-Andrei ISTRATE , Tiberiu CATALINA, Alexandra CUCOȘ, Tiberius DICU	Sustainable Solutions for Energy and Environment, EENVIRO - YRC 2015, 18-20 November 2015	Experimental Measurements of VOC and Radon in Two Romanian Classrooms
10	Marian-Andrei ISTRATE , Tiberiu CATALINA	The 8th "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings" (RCEPB-VIII) 2–3 June 2016 Bucharest, ROMANIA	Indoor air temperature in two classrooms before and after a thermal rehabilitation

11	A. Cucos, T. Dicu, B. Papp, M. Moldovan, B.D. Burghela, A. Tenter, S. Beldean, T. Catalina, A. Istrate , C. Cosma, C. Sainz,	8th International Conference on Protection against Radon at Home and at Work, 12...16 September 2016, Prague	Smart systems for control and mitigation of residential radon linked with energy efficiency in Romania
12	B. Papp, T. Dicu, A. Cucos, A. Istrate , T. Catalina, A. Lupulescu, C. Sainz	Cluj Napoca, 2017	Laboratory studies on indoor Radon ventilation
13	Vasilica Vasile, Alina Dima, Elena Zorila, Andrei Istrate , Tiberiu Catalina	EENVIRO 2017	Comparison of indoor air pollutants concentration in two Romanian classrooms
14	Tiberiu Catalina, Andreea Vartires, Andrei Olariu, Elena Zorila, Andrei Damian, Andrei M. Istrate ,	Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture Volume 60, No. 1, (2017)	Thermal comfort comparison between two classrooms with different ventilation systems
15	Andreea Vartires, Andrei Damian, Andrei Olariu, Andrei Istrate , Tiberiu Catalina, Elena Zorilă	Revista Româna de Inginerie Civilă, Volumul 9, Numarul 1, 2018	Challenges in achieving a high indoor air quality in an educational building
16	Tiberiu CATALINA, Alexandra ENE, Andrei ISTRATE	Revista Româna de Inginerie Civilă, Volumul 9, Numarul 2, 2018	Assessing the performance of led lighting in a classroom, simulations versus experiment
17	Tiberiu CATALINA, Alexandra ENE, Andrei ISTRATE , Alexandra CUCOȘ, Tiberius DICU, Kinga SZACSVAI	Charpatian Journal	Experimental and numerical study of indoor air quality and energy consumption of a single family detached home
18	Tiberiu CATALINA, Marian-Andrei ISTRATE, Andrei DAMIAN, Andreea VARTIRES, Alexandra CUCOȘ	Charpatian Journal	Indoor air quality assesment in a classroom using a heat recovery ventilation unit

5 BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] ASHRAE, (2007), "Ventilation for acceptable indoor air quality".
- [2] REHVA Guidebook no 13, Indoor Environment and Energy Efficiency in Schools, 2010.
- [3] Adrian-Gabriel GHIAUȘ, **Marian-Andrei ISTRATE**, (2010), Simularea numerică a uscării produselor lemnoase cu ajutorul programului Comsol, A XVIA Conferință Confort, Eficiență, Conservarea Energiei și Protecția Mediului 18 - 19 Martie 2010, FII,
- [4] Adrian-Gabriel GHIAUȘ, **Marian-Andrei ISTRATE**, Andrei-Mugur GEORGESCU, (2010), Flow Characteristics Inside an Industrial Wood Pallet Drying Kiln, Comsol Conference in Paris, 2010Air
- [5] Adrian-Gabriel GHIAUȘ, **Marian-Andrei ISTRATE**, Andrei-Mugur GEORGESCU, (2012) Ventilation System of a Microwave Assisted Drying Kiln, Comsol Conference in Milan, 2012,
- [6] **Marian-Andrei ISTRATE**, Tiberiu CATALINA, RCPB VIth International Conference of Faculty of Building Services - 5th June 2014 Experimental research of an evaporative cooling system installed into a classroom,
- [7] ASHRAE, (2007), "CO₂ – Based demand Control Ventilation".
- [8] **Marian-Andrei ISTRATE**, Tiberiu CATALINA, Horațiu DRAGNE, Young Researchers Conference, Technical University of Civil Engineering Bucharest– 19-20th November 2014 - Indoor air quality improvement in a classroom using an evaporative cooling ventilation system
- [9] **Marian-Andrei ISTRATE**, Tiberiu CATALINA, Alexandra CUCOȘ, Tiberius DICU, Sustainable Solutions for Energy and Environment, EENVIRO - YRC 2015, 18-20 November 2015 - Experimental Measurements of VOC and Radon in Two Romanian Classrooms
- [10] **Marian-Andrei ISTRATE**, Tiberiu CATALINA, The 8th "Romanian Conference on Energy Performance of Buildings" (RCEPB-VIII) 2–3 June 2016 Bucharest, ROMANIA - Indoor air temperature in two classrooms before and after a thermal rehabilitation
- [11] Tiberiu Catalina, Andreea Vartires, Andrei Olariu, Elena Zorila, Andrei Damian, **Andrei M. Istrate**, Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture Volume 60, No. 1, (2017) - Thermal comfort comparison between two classrooms with different ventilation systems
- [12] Andreea Vartires, Andrei Damian, Andrei Olariu, **Andrei Istrate**, Tiberiu Catalina, Elena Zorilă, Revista Româna de Inginerie Civilă, 2018 - Challenges in achieving a high indoor air quality in an educational
- [13] ASHRAE JOURNAL, 2014, CO₂ – Based Demand Control Ventilation – Do Risks Outweigh Potential Rewards?,
- [14] Peter Kapalo et al., 2014, Determine a methodology for calculating the needed fresh air, The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING", Vilnius, Lithuania
- [15] Peter Sundelin, 2016, Energy recovery, calculation methods,
- [16] John Wiley & Sons A, 2014, Use of visual CO₂ feedback as a retrofit solution for improving classroom air quality, wileyonlinelibrary.com/journal/ina
- [17] Mark Luther et al., 2014, Examining CO₂ levels in school classrooms, Deakin University, Victoria, Australia
- [18] Singh H et al., Predictions of indoor CO₂ concentration levels in four UK school buildings with three selected ventilation scenarios
- [19] Sinphonie Schools Indoor Pollution and Health – Observatory Network in Europe, 2014
- [20] Jeannette TM Rosbach et al., 2013, A ventilation intervention study in classrooms to improve indoor air quality: the FRESH study, Environmental Health